

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



DESARROLLO DE COMPUESTOS DENSIFICADOS-
REFORZADOS BASE CEMENTO PORTLAND CPO 40
DE LA COMPAÑIA CEMEX

POR:

ALEJANDRO DURAN HERRERA

TESIS

Como requisito parcial para obtener el grado de
Doctor en Ingeniería con Especialidad en Materiales

JUNIO DE 2003

2003
20 FT x 25 FT
30 FT x 18 FT
33 FT x 15 FT
33

DESARROLLO DE COMPUTESTOS IDENTIFICADOS.
REINFORZADOS BASE CEMENTO PORTLAND CPO 40
DE LA COMPAÑIA CEMTEX

A.D.H.



1020148462

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



DESARROLLO DE COMPUESTOS DENSIFICADOS – REFORZADOS
BASE CEMENTO PÓRTLAND CPO 40 DE LA COMPAÑIA CEMEX.

POR

ALEJANDRO DURÁN HERRERA

Como requisito parcial para obtener el Grado de
Doctor en Ingeniería con Especialidad en Materiales

junio de 2003

TD
Z552
.M2
F11E
2003
.D8



FONDO
TESIS

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERÍA MECANICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

Los miembros del Comité de Tesis, recomendamos que la Tesis “**DESARROLLO DE COMPUESTOS DENSIFICADOS-REFORZADOS BASE CEMENTO PÓRTLAND CPO 40 DE LA COMPAÑÍA CEMEX**” realizada por el M.C. Alejandro Durán Herrera, sea aceptada para su defensa como opción al grado de DOCTOR EN INGENIERIA DE MATERIALES.

El Comité de Tesis:



Dr. Tushar Kanti Das Roy

Asesor de Tesis



Dr. Raymundo Rivera Villarreal

Co-asesor de Tesis



Dr. Hugo Bolio Arceo

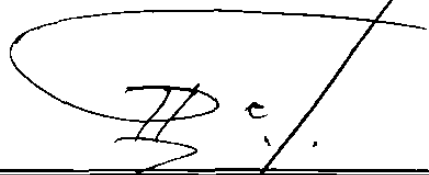
Vice-Presidente de Tecnología-CEMEX

Revisor



Dr. Alberto Pérez Unzueta

Revisor



Dr. Guadalupe Alan Castillo Rodríguez

Subdirector de Estudios de Postgrado y Revisor

Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, N.L., junio de 2003

AGRADECIMIENTOS:

- A Dios por haberme brindado la oportunidad de vivir esta experiencia.

Por el invaluable apoyo y muestras de aliento que me brindaron para la realización del presente trabajo, deseo manifestar mi mas sincero e infinito agradecimiento a las siguientes personas e instituciones:

- A Esmeralda, Frida Paola y Fabiola Nohemí.
- Al Dr.-Ing. Raymundo Rivera Villarreal, Profesor Investigador y Jefe del Departamento de Tecnología del Concreto de la Facultad de Ingeniería Civil de la U.A.N.L.
- Al Dr.-Ing. Tushar Kanty Das Roy, Profesor-Investigador del Programa Doctoral en Ingeniería de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la U.A.N.L.
- A la Ing. Maria Claudia Ramírez Carrero de la Dirección de Tecnología de la Compañía CEMEX.
- Al Dr.-Ing. Alberto Pérez Unzueta, Profesor-Investigador del Programa Doctoral en Ingeniería de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la U.A.N.L.
- Al Dr.-Ing. Guadalupe Alan Castillo Rodríguez, Profesor-Investigador del Programa Doctoral en Ingeniería de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la U.A.N.L.
- Al Dr.-Ing. Hugo Bolio Arceo, Vice-Presidente de la Dirección de Tecnología de la Compañía CEMEX.
- A los Doctores Pedro Leobardo Valdez Tamez y Cesar Juárez Alvarado Maestros-Investigadores de la Facultad de Ingeniería Civil de la U.A.N.L.
- A los Maestros en Ciencias Benjamín Limón Rodríguez y Marta Leticia Herrejon Figueroa del Departamento de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Civil de la U.A.N.L.
- Al personal Técnico del Centro de Investigación de Materiales (CIM) de la Dirección de Tecnología de la Compañía CEMEX.
- Al personal Profesional, Técnico y Administrativo del Programa Doctoral en Ingeniería de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la U.A.N.L.
- Al Sr. Catarino Ortiz Sánchez y al personal Profesional, Técnico y Administrativo del Departamento de Tecnología del Concreto de la Facultad de Ingeniería Civil de la U.A.N.L.
- Al personal Profesional del CIDEMAC de la Facultad de Ciencias Químicas de la U.A.N.L.
- A la Universidad Autónoma de Nuevo León.
- A la Dirección de Tecnología de CEMEX.
- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

DEDICATORIA:

- A mis padres Maria de Lourdes (†) y Alejandro (†) por el apoyo incondicional y por las muestras de cariño que en vida siempre me brindaron.

- A mis hermanos José Luis, Ana Margarita, María de Lourdes, Miguel Antonio y Roberto Samuel por el cariño y apoyo que siempre me han manifestado.

- A mis tres mujeres, Fabiola Noemí, Frida Paola y Esmeralda, quienes para mi constituyen el mas grande tesoro con el que Dios me ha bendecido, por su apoyo y comprensión para llevar a buen fin el presente trabajo.

RESUMEN:

El presente trabajo estuvo encaminado a investigar la aplicabilidad del Cemento Pórtland CPO 40 marca Monterrey producido por la compañía CEMEX para la producción de Compuestos Densificados – Reforzados. Selectivamente fueron caracterizados por distintas pruebas seis cementantes complementarios (CC), seis arenas sílicas y dos aditivos súperfluidificantes inicialmente considerados.

Se eligió para fluidificar el compuesto un aditivo en polvo de éter de policarboxilato en base a pruebas de fluidez DIN, de resistencia a la compresión y de tiempos de fraguado,. Como agregado, se estudiaron la combinación de tres arenas sílicas, una arena de caliza, una arena silicosa conocida como piedrita de Reynosa una arena de andesita, y dos combinaciones de arena sílica con andesita. Las resistencias a compresión en morteros mostraron la influencia del origen geológico de la arena, arrojando las mayores resistencias la arena sílica y la andesita. En general atribuimos a la pasta y no al agregado las bajas resistencias a compresión obtenidas.

Por la fluidez inapropiada que presentaron en las pruebas de fluidez iniciales, los sistemas cementantes con CPO 40 + MK-PP, MK-CIM ó A069 tuvieron que ser descartados, por lo que en adelante los sistemas a estudiar estuvieron constituidos por CPO 40 + HSF, M³ ó CVFM.

Para los sistemas cementantes CPO 40 + HSF, M³ ó CVFM, inicialmente los morteros con arena sílica para una fluidez promedio ASTM C 109 modificada de 133 % y A/CM = 0.23 demandaron 2.5, 0.42 y 0.73% de aditivo respectivamente. Con la combinación de arenas C2 y con el criterio de Punto de Saturación para una fluidez en el rango de 144 a 154%, el aditivo se incremento a 2.75% para el sistema cementante con HSF con A/CM = 0.23 y para los sistemas cementantes con M³ ó con CVFM a 2.6%, disminuyendo las relaciones A/CM a 0.20 y 0.21 respectivamente.

Para reforzar los morteros se estudiaron tres porcentajes de fibra de acero en volumen (2, 3 y 4%) resultando optimo en cuanto a fluidez y resistencia 2%. Se fabricaron especimenes para pruebas mecánicas de compresión, tensión directa, flexión y tensión por compresión diametral. A los morteros en estado endurecido se le hicieron análisis de microscopia electrónica de barrido.

Para el curado de los morteros se estudiaron cuatro regímenes de curado acelerado con humedad a 90°C, que indicaron que una meseta de 6 horas de curado acelerado es suficiente.

Por las resistencias mecánicas alcanzadas y por el ahorro económico que ofrecen con relación al costo del compuesto con HSF, los compuestos con los CC M³ y CVFM representan una alternativa viable para usarse en la producción de estos compuestos.

CONTENIDO:

Sección	Página
1.- INTRODUCCIÓN	1
1.1.- El Concreto	1
1.2.- Cemento	3
1.2.1.- Origen del Cemento Pórtland	3
1.2.2.- Fabricación del Cemento Pórtland	4
1.2.3.- Composición química del Cemento Pórtland	4
1.2.4.- El papel del Sulfato de Calcio	6
1.3.- Aditivo Súperfluidificante	7
1.4.- Agregado	9
1.4.1.- Granulometría Tamaño y Forma de las Partículas	9
1.4.2.- Resistencia Intrínseca	10
1.5.- Fibras	10
1.5.1.- Mecanismo del agrietamiento a Tensión y a Compresión	11
1.5.1.1.- Agrietamiento del concreto a tensión	11
1.5.1.2.- Agrietamiento del concreto a compresión	11
1.5.2.- Papel de las fibras en el proceso de agrietamiento del concreto	12
1.5.3.- Tipos de Grietas	13
1.5.4.- Características Intrínsecas de la fibra	13
1.5.5.- Relación aspecto de la fibra	14
1.5.6.- Durabilidad de las fibras de acero embebidas en concreto	15
1.6.- Reacciones de Hidratación y Actividad Puzolánica	16
1.6.1.- Hidratación del Cemento Pórtland	16
1.6.2.- Actividad Puzolánica de los cementantes complementarios	20

Sección	Página
2.- ANTECEDENTES	24
2.1.- Concreto de Alto Comportamiento	24
2.2.- Concreto de Ultra Alto Comportamiento	25
2.2.1.- Sistemas Densificados conteniendo partículas ultrafinas homogéneamente distribuidas.	26
2.2.2.- Concretos de Polvos Reactivos	26
2.2.3.- Concretos Reforzados con Fibras Multi – Escala.	29
3.- OBJETIVOS	30
4.- METAS	30
5.- JUSTIFICACIÓN	31
6.- DESARROLLO EXPERIMENTAL Y COMENTARIOS A LOS RESULTADOS	32
6.1.- Ingredientes y Definición de Constantes del Proyecto	32
6.1.1.- Ingredientes Seleccionados	32
6.1.2.- Constantes del Proyecto	32
6.1.2.1.- Dosificación de Cementantes	33
6.1.2.2.- Proporción de Cementantes	34
6.2.- Propiedades Mecánicas por determinar	34
6.3.- Caracterización de Cementos Pórtland y Cementantes Complementarios	34
6.3.1.- Composición Química por FRX	34
6.3.2.- Distribución de Tamaños de Partículas por Láser	38
6.3.3.- Características de Finura y Porosidad BET	41
6.3.4.- Fases Minerales por DRX	43
6.3.5.- Morfología por Microscopía Electrónica de Barrido	48

<i>Sección</i>	<i>Página</i>
6.3.6.- Agua Requerida por el CPO 40 y los CC HSF, M ³ ,CVFM y MK-PP para una Fluidez ASTM C 109 de 110 ± 5 %.	52
6.4.- Compuestos Potenciales de Bogue de los cementos, Estructura Química del cemento CPO 40 y su efecto en la fluidez de la pasta de cemento.	53
6.5.- Selección de Arenas Sílicas	58
6.5.1.- Caracterización de las arenas sílicas	58
6.5.1.1.- Distribución de Tamaños de Partículas por Láser	58
6.5.1.2.- Composición Mineralógica por DRX	58
6.5.1.3.- Morfología de las arenas sílicas por Microscopia Electrónica de Barrido.	60
6.5.2.- Combinación de Arenas por el criterio de Máximo Peso Volumétrico compactado (PVC)	62
6.5.3.- Uso del Software LISA para optimizar la Combinación de Arenas	64
6.6.- Selección del Aditivo Súperfluidificante.	68
6.7.- Puzolanidad de la Arcilla A069	71
6.7.1.- Activación de la Arcilla A069	72
6.7.2.- Puzolanidad de los CC y de la arcilla A069	75
6.7.2.1.- Puzolanidad por ASTM C 311-00 ^{e1}	76
6.7.2.2.- Puzolanidad por el Método de Volúmenes de Pasta Constantes	80
6.8.- Fluidez en Morteros con Arenas Sílicas	84
6.8.1.- Mezclado	85
6.8.2.- Determinación de la Fluidez	86
6.9.- Tiempos de Fraguado de los Morteros con Arenas Sílicas	89

Sección	Página
6.10.- Tiempos de Curado Acelerado de los Morteros con la Combinación de Arena Sílica	90
6.11.- Porosidad por Intrusión de Mercurio de los Morteros con Arenas Sílicas	95
6.12.- Tanteos con otras arenas	97
6.12.1.- Trituración de Arenas y Fabricación de Granulometrías.	100
6.12.2.- Tanteos de Fluidéz para definir proporciones	100
6.13.- Tanteos con Combinación de Arenas “AS” y Andesita.	104
6.13.1.- Combinación C1	105
6.13.2.- Combinación C2	106
6.13.2.1.- Método de ajuste por Granulometría (Análisis Gráfico-Granulométrico)	106
6.13.2.2.- Resultado	109
6.13.3.- Fabricación y Ensaye de Especímenes para las Combinaciones de Arena C1 y C2	109
6.14.- Dosificación Óptima de Aditivo para el Mortero con HSF y Combinación de Arenas C2	112
6.15.- Tanteos para definir Mínima Relación A/CM en Morteros para los Sistemas Cementantes CPO 40 + M ³ y CPO 40 + CVFM	113
6.16.- Fluidéz en Pastas	114
6.16.1.- Mezclado	116
6.16.2.- Determinación de la Fluidéz	117
6.17.- Morteros Definitivos	118
6.17.1.- Resistencia a Compresión de Morteros Definitivos	119
6.17.2.- Tiempos de Fraguado de los Morteros con Proporciones Definitivas	120
6.18.- Adición de Fibras al Mortero Definitivo	122

Sección	Página
6.18.1.- Mezclado de Mortero en Revolvedora de Contracorriente	126
6.18.2.- Mortero Definitivo con CVFM	128
6.18.3.- Morteros Definitivos con HSF y M ³	131
6.19.- Costos Estimados	135
6.20.- Ensayes para determinar las Propiedades Mecánicas del Compuesto en estado endurecido	137
6.20.1.- Comentarios a los Resultados	143
6.21.- Densidades y Costos Estimados por Tonelada para los Morteros Endurecidos en estado endurecido.	144
6.22.- Microestructura de los Morteros Endurecidos por Microscopía Electrónica de Barrido	146
7.- CONCLUSIONES	149
8.- RECOMENDACIONES	151
9.- ANEXO I: Avances recientes en el estudio de la compatibilidad Cemento Pórtland - Aditivo Súperfluidificante.	152
10.- REFERENCIAS	156
11.- RESUMEN AUTOBIOGRAFICO	163

INDICE DE TABLAS:

Tabla	Título	Página
1	Composición química de Cementos y Cementantes complementarios determinada por Fluorescencia de Rayos X (FRX)	36
2	Superficie Especifica y Tamaños para el 10%, 50% y 90% de retenido determinados vía láser y densidades ASTM C 188 - 95	39
3	Características de Finura y Porosidad BET	41
4	Fases Minerales obtenidas por DRX para el CPO 40, HSF, M ³ , CVFM y MK-PP.	43
5	Morfología y Rangos de Tamaños obtenidos por Microscopia Electrónica de Barrido para el CPO 40, HSF, M ³ , CVFM y MK-PP.	49
6	Agua requerida por el CPO 40 y los Cementantes Complementarios HSF, M ³ , CVFM Y MK-PP para una fluidez ASTM C 109/C 109 M-99 de $110 \pm 5 \%$.	52
7	Compuestos potenciales de Bogue, Fluideces con Minicono de Kantro y Tamaños Promedio de Partículas para el CPO 40 y los Cementos Alternativos.	54
8	Morfología y Rangos de Tamaños obtenidos por Microscopia Electrónica de Barrido para las Arenas Sílicas.	60
9	Combinación de Arenas Sílicas definida en base a Pesos Volumétricos Compactados y a la optimización por LISA.	67
10	Granulometrías de Arenas Sílicas F 20/40, F 40 y Harina M 200, así como la combinación optimizada por LISA con y sin la Harina M200	67
11	Resistencia a la Compresión, tiempos de Fraguado y Dosificación de Aditivo para morteros con fluidez de 55 cm DIN y A/CPO 40 = 0.25. para selección de Aditivo súperfluidificante.	69
12	Proporciones empleadas para definir el Aditivo súperfluidificante.	70

Tabla	Título	Página
13	Desarrollo de la resistencia a la compresión por medio de pruebas de puzolanicidad ASTM C311-00 ^{e1} para el CP 40 y los Cementantes.	77
14	Proporciones en relación al peso de cemento obtenidas por el Método de Volúmenes de Pasta Constantes.	81
15	Desarrollo de Resistencia a la Compresión de los morteros fabricados por el Método de Volúmenes de Pasta Constantes para todos los cementantes.	83
16	Proporcionamiento en kg/m ³ y Fluideces correspondientes para los morteros con los CC HSF, M ³ y CVFM y con la combinación de arenas sílicas "AS".	88
17	Tiempos de Fraguado por penetración ASTM C 403/C 403M-99 para los morteros con los CC HSF, M ³ , y CVFM y con la combinación de arenas sílicas "AS".	90
18	Efecto del Curado Acelerado en la resistencia a la compresión y desviaciones estándar correspondientes para los morteros con los CC HSF, M ³ y CVFM y con la combinación de arenas sílicas "AS".	93
19	Porosidad y otras características de porosidad obtenidos por intrusión de mercurio en morteros con el CC HSF, M ³ y CVFM y con la combinación de arenas sílicas "AS".	96
20	Análisis Químico del agregado de origen volcánico de Sabinas Coahuila por FRX.	98
21	Granulometría de referencia (GR) y ajustada (GRA) para las arenas de caliza, de piedrita de Reynosa y andesita.	101
22	Proporcionamiento en kg/m ³ para los morteros fabricados con el CC HSF y las arenas "AS", Andesita, Piedrita de Reynosa y Caliza.	102
23	Proporcionamiento en Volúmenes Absolutos para los morteros fabricados con el CC HSF y las arenas "AS", Andesita, Piedrita de Reynosa y Caliza	102

Tabla	Título	Página
24	Desarrollo de Resistencia a la Compresión en cubos de 5.0 cm. para morteros con HSF y diferentes arenas.	103
25	Distribución granulométrica Fuller con límites superior e inferior definidos en base a ASTM C 33.	109
26	Proporcionamiento en kg/m^3 y Fluideces correspondientes para los morteros con HSF y combinaciones de arenas C1 y C2.	110
27	Desarrollo de resistencia a compresión en cubos de 5.0 cm para los morteros con HSF y combinaciones de arenas C1 y C2.	111
28	Fluideces en morteros con HSF y combinación de arenas C2 para definir punto de saturación.	113
29	Resumen de pruebas de fluidez en morteros con M^3 y CVFM y con arena C2.	114
30	Fluideces en pastas con HSF para definir dosificación de aditivo óptima (punto de saturación).	115
31	Fluideces en pastas con M^3 para definir dosificación de aditivo óptima (punto de saturación).	115
32	Fluideces en pastas con CVFM para definir dosificación de aditivo óptima (punto de saturación).	116
33	Constitución de partida para definir proporciones de morteros definitivos	118
34	Proporcionamiento en kg/m^3 para los morteros definitivos fabricados con los sistemas cementantes CPO 40 + HSF, CPO 40 + M^3 y CPO 40 + CVFM y arena C2.	119
35	Resistencia a Compresión de Morteros Definitivos en especímenes cilíndricos curados bajo los regímenes CA18 y CE.	120
36	Tiempos de fraguado por penetración ASTM C 403/C 403M-99 para los morteros definitivos fabricados con los sistemas CPO 40 + HSF, CPO 40 + M^3 y CPO 40 + CVFM.	121

Tabla	Título	Página
37	Proporcionamiento en kg/m^3 para el mortero definitivo con CVFM y con 2, 3 y 4 %.	129
38	Resistencias a compresión para morteros definitivos con CVFM y contenidos de FA de 0, 2, 3 y 4%, curados bajo los regímenes CA y CA18.	131
39	Proporcionamiento en kg/m^3 para los morteros definitivos con HSF, M^3 y CVFM con y sin FA.	132
40	Proporcionamiento en volúmenes absolutos para los morteros definitivos con HSF, M^3 y CVFM con y sin FA.	132
41	Fluideces y contenidos de aire para los morteros definitivos con HSF, M^3 y CVFM con y sin FA.	133
42	Resumen de Fluideces y contenidos de aire para los morteros definitivos con HSF, M^3 y CVFM con y sin FA.	134
43	Costos estimados para los morteros definitivos con 2% de FA y sin FA	136
44	Resultados de pruebas mecánicas, coeficientes de variación correspondientes e incremento de resistencia por efecto de la incorporación de 2% de FA para los morteros definitivos con 2% y sin FA en volumen, curados bajo el régimen CA18 y ensayados a los 7 días de edad.	142
45	Densidades de morteros endurecidos determinados en base a ASTM C 642 y Costos/Tonelada estimados para los morteros definitivos.	145

INDICE DE GRAFICAS:

Gráfica	Título	Página
1	Distribuciones de tamaño de partículas para el CPO 40 y los Cementantes Complementarios.	40
2	Distribuciones de tamaño de partículas de las Arenas Sílicas y la Harina Sílica M 200.	40
3	Espectro de Difracción de Rayos X del CPO 40.	45
4	Espectro de Difracción de Rayos X del CC HSF.	45
5	Espectro de Difracción de Rayos X del CC M ³ .	46
6	Espectro de Difracción de Rayos X del CC CVFM.	46
7	Espectro de Difracción de Rayos X del CC MK-PP	47
8	Espectro de Difracción de Rayos X para la fase líquida (C ₃ A + C ₄ AF) del CPO 40.	56
9	Espectro de difracción de las Arenas F 20/40 y F 40.	59
10	Combinación de Arenas Sílicas F 20/40 y F 40 Vs Peso Volumétrico Compactado (PVC).	63
11	Combinación de Arenas Sílicas F 20/40-F 40 y Harina M200 Vs Peso Volumétrico Compactado (PVC).	63
12	Tamaño de partículas Vs por ciento que pasa (gráfica obtenida mediante el software LISA).	66
13	Termograma de la Arcilla A069.	73
14	Espectros de Difracción de Rayos X para la arcilla A069, horneada en una mufla a una temperatura de 800° C para diferentes tiempos de residencia (TR).	74
15	Desarrollo de resistencias en cubos de 5 cm de los morteros fabricados para el CPO 40 y los diferentes CC de acuerdo a ASTM C 311.	77

Gráfica	Título	Página
16	Desarrollo de resistencia en cubos de 5 cm de los morteros fabricados para el CPO 40 y los diferentes CC de acuerdo al Método de Volúmenes de Pasta Constantes.	84
17	Tiempos de fraguado ASTM C 403 para los morteros con combinación de arenas sílicas “AS”.	89
18	Resistencias a compresión promedio a la edad de 7 días para especímenes cilíndricos curados de manera estándar (CE) y bajo diferentes regímenes de curado acelerado (CA).	94
19	Resistencias a compresión promedio a la edad de 28 días para especímenes cilíndricos curados de manera estándar (CE) y bajo diferentes regímenes de curado acelerado (CA).	94
20	Espectro de Difracción de Rayos X de la Arena de Origen Volcánico (Andesita).	98
21	Granulometría de referencia (GR) empleada para las arenas Caliza, Andesita y Piedrita de Reynosa.	101
22	Desarrollo de resistencias de los morteros fabricados con las arenas de Caliza, Andesita y Piedrita de Reynosa.	104
23	Combinación de la arena de Andesita con granulometría GRA y la combinación de Arenas Sílicas “M” para Peso Volumétrico Compactado (PVC) máxima.	105
24	Combinación de las arenas de Andesita con granulometría GRA y la combinación de Arenas Sílicas “M”, optimizada por medio del Análisis Gráfico- Granulométrico descrito en el Método de Ajuste por Granulometría.	108
25	Desarrollo de Resistencia en cubos de morteros con combinación de arenas C1 y C2.	111
26	Tiempos de Fraguado ASTM C 403 para los morteros definitivos con la combinación de arenas C2.	122

INDICE DE IMAGENES:

Imagen	Descripción	Página
1	Microfotografía de Concreto convencional, Concreto de alto comportamiento y Concreto de polvos reactivos.	28
2	Puente peatonal construido con Concreto de Polvos Reactivos de 200 MPa sobre el río Magog en la Ciudad de Sherbrooke, Québec, Canadá.	28
3	Equipo de Florescencia x (FRX) para análisis químicos	37
4	Perlificadora para fabricación de las pastillas de vidrio que se emplean en los análisis químicos FRX	37
5	Equipo de Permeabilidad al aire Blaine ASTM 204, para determinar el área superficial a cemento	42
6	Equipo de Adsorción de nitrógeno para la determinación de áreas superficiales y porosidades BET.	43
7	Equipo para análisis de difracción de rayos x	47
8	Microscopio Electrónico de Barrido para análisis microestructural de imágenes.	48
9	Microfotografía del CPO 40 obtenido por Microscopía Electrónica de Barrido.	49
10	Microfotografía del CC HSF obtenido por Microscopía Electrónica de Barrido.	50
11	Microfotografía del CC M ³ obtenido por Microscopía Electrónica de Barrido.	50
12	Microfotografía del CC CVFM obtenido por Microscopía Electrónica de Barrido.	51
13	Microfotografía del CC MK-PP obtenido por Microscopía Electrónica de Barrido.	51
14	Microfotografía de al Arena Sílica F 20/40 obtenida por Microscopía Electrónica de Barrido.	60

Imagen	Descripción	Página
15	Microfotografía de al Arena Sílica F 40 obtenida por microscopía electrónica de barrido	61
16	Microfotografía de al Arena Sílica Harina Sílica M200 obtenida por microscopía electrónica de barrido	61
17	Aspecto físico del Cemento y Cementantes complementarios así como de las Arenas y Harinas Sílicas definidas por PVC	68
18	Aditivo Súperfluidificante-Súperreductor de agua de alto rango a base de Éter de Policarboxilato	71
19	Horno rotatorio piloto utilizado para la quema de la Arcilla A069	75
20	Batidora estándar ASTM C 305 para el mezclado de pastas y morteros	79
21	Mesa estándar ASTM C230 utilizada para las pruebas de fluidez a morteros en estado fresco.	80
22	Horno de humedad y temperatura máxima de 120 °C empleado para el curado acelerado.	91
23	Desbastado de las caras de los especímenes cilíndricos para dejarlos simétricamente paralelos con el eje del cilindro previo al ensaye de compresión.	92
24	Fotografía de la superficie de falla del mortero con HSF y combinación de arenas sílicas "AS".	97
25	Agregado de andesita en greña, parcialmente triturado y pulverizado.	99
26	Prueba de fluidez modificada a un mortero definitivo con M ³ .	112
27	Fibra de acero empleada para reforzar los morteros.	125
28	Fluidez del mortero definitivo con CVFM y 4 % de F.A.	126
29	Revolvedora de contracorriente de origen alemán marca Eirich con capacidad de 45 litros	127

Imagen	Descripción	Página
30	Equipo utilizado para recaptar con arena sílica las caras de los cilindros de alta resistencia (Sand Box).	130
31	Espécimen cilíndrico de mortero definitivo de 7.5 cm de diámetro por 15.0 cm de altura durante y después del ensaye a compresión.	138
32	Ensaye a flexión de una viga de mortero definitivo de 5 X 5 X 50 cm.	138
33	Ensaye a Tensión por Compresión Diametral (TCD) a un espécimen cilíndrico de 7.5 cm de diámetro con una relación de esbeltez de 2.	139
34	Fabricación de briquetas para ensayos de tensión directa.	139
35	Ensaye de tensión directa a una briqueta de mortero definitivo con M ³ y 2% de F.A.	140
36	Microfotografía por SEM a mortero definitivo con HSF.	146
37	Microfotografía por SEM a mortero definitivo con M ³ .	147
38	Microfotografía por SEM a mortero definitivo con CVFM.	148

INDICE DE FIGURAS:

Figura	Descripción	Página
1	Representación esquemática del mecanismo de hidratación en sistemas C_3S – Puzolana.	22
2	Representación esquemática del mecanismo de hidratación en sistemas C_3A – Puzolana, en presencia de Yeso y Portlandita.	23
3	Cono de Kantro para la prueba de mini-revenimiento en pastas.	53
4	Espectros característicos en clínker para definir la estructura química del C_3A .	56
5	Dimensiones de las Briquetas con espesor de 50 mm para las pruebas de Tensión Directa.	141

NOMENCLATURA:

A069	Arcilla etiquetada con el numero 069 en el CIM.
ACI	American Concrete Institute.
A/CM	Relación Agua/Cementante.
ASTM	American Standards for Testing and Materials.
BET	Técnica para determinar características de finura y porosidad por medio de adsorción de nitrógeno (Brunauer, Emmet y Taylor).
CC	Cementante Complementario
CEH	Cemento Pórtland de Exportación de Hermosillo Sonora
CH	Hidróxido de calcio o Pórtlandita.
CIM	Centro de Investigación de Materiales de CEMEX.
CIM - 121	Cementos alternativos etiquetados como CIM – 121.
C-S-H	Hidratos de silicato de calcio
CPO 40	Cemento Pórtland Ordinario con resistencia mínima a la compresión de 40 MPa a los 28 días, NMX-C414-1999.
CT	Cementante Total.
CVFM	Ceniza Volante de Carbón Mineral de la Planta Carboeléctrica de Río Escondido en Nava, Coahuila.
DIN	Instituto Alemán de Normalización (Deutsches Institut für Normung)
DRX	Análisis de Difracción de Rayos X.
DTA-TGA	Análisis simultáneo Térmico Diferencial y Termogravimétrico.
DTP	Distribución de Tamaños de Partículas.
EPC	Aditivo Súperfluidificante en polvo de nombre comercial SIKA-Viscocrete a base de Éter de Policarboxilato.
FA	Fibra de Acero
FCNC	Aditivo Súperfluidificante en polvo a base de Formaldehído Condensado de Naftaleno Sulfonato.
FRX	Análisis de Fluorescencia de Rayos X.
HPC	High Performance Concrete.
HSF	Sílica Fume de Helkem
LISA	Lenguaje Independent Size Distribution Analizar.

NOMENCLATURA: Continuación

M³	Ceniza Volante Refinada Micron ³ de Boral Material Technologies.
MK-CIM	Arcilla activada en Horno Rotatorio Piloto a 800°C
MK-PP	Metacaolin Power Pozz. de Advanced Cement Technologies.
NAM	Solución de Ácido Nítrico/Metanol.
PPI	Perdida por Ignición
PVC	Peso Volumétrico Compactado.
RPC	Reactive Powder Concretes.
SAM	Solución de Ácido Salicílico/Metanol
SE	Superficie Específica
SEM	Scanning Electronic Microscopy
SF	Aditivo Súperfluidificante.
SSS	Condición de humedad: Saturado Superficialmente Seco.
TCD	Tensión por Compresión Diametral.
UANL	Universidad Autónoma de Nuevo León.
USD	Dólares americanos.