

(40)

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ESTUDIO DE CONCRETO CON ALTA RESISTENCIA A LA AGRESION PROVOCADA POR LA CONTAMINACION DEL MEDIO AMBIENTE (2a. PARTE)

TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR:

SANTOS FERNANDO ALBERTO SANTOS

MIGUEL BALMORE RODRIGUEZ VAQUERANO

OSCAR ORLANDO SANTAMARIA

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

AGOSTO DE 1995

SAN SALVADOR

EL SALVADOR

CENTRO AMERICA

15101679
15101679

1501
A334e
1995
Ej. 2

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



RECTOR:

DR. JOSE BENJAMIN LOPEZ GUILLEN

SECRETARIO GENERAL:

LIC. ENNIO ARTURO LUNA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

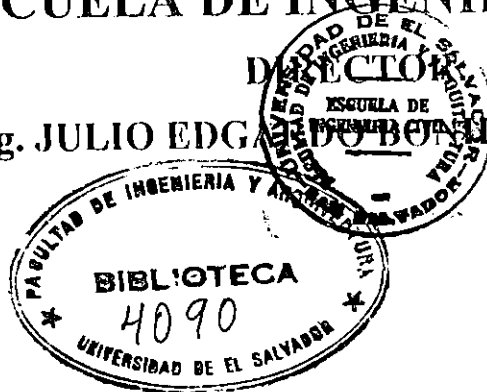
Ing. JOAQUIN ALBERTO VANEGAS AGUILAR

SECRETARIO:

Ing. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Ing. JULIO EDGARDO BONILLA ALVAREZ



Dec. 14/19/95

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

TRABAJO DE GRADUACION PREVIO A LA OPCION AL GRADO DE:

INGENIERO CIVIL

**ESTUDIO DE CONCRETO CON ALTA RESISTENCIA A LA
AGRESION PROVOCADA POR LA CONTAMINACION DEL
MEDIO AMBIENTE (2a. PARTE)**

PRESENTADO POR:

**SANTOS FERNANDO ALBERTO SANTOS
MIGUEL BALMORE RODRIGUEZ VAQUERANO
OSCAR ORLANDO SANTAMARIA**

TRABAJO DE GRADUACION APROBADO POR:

**COORDINADOR Y
ASESOR**

Ing. PORFIRIO LAGOS VENTURA

**ASESOR
EXTERNO**

: Ing. ROLANDO AMAYA DE LEON

SAN SALVADOR, AGOSTO 1995

RECONOCIMIENTO

A nuestra heroica "UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR" Alma Mater y máximo centro de estudios del país, por habernos formado profesionales capaces para prestar nuestros servicios de la mejor manera posible a ese luchador y laborioso pueblo salvadoreño.

Nuestra realización y fortalecimiento académico ha sido posible gracias a la participación y esfuerzo desinteresado de muchas personas e instituciones que incondicionalmente nos brindaron su apoyo. En ese sentido, manifestamos nuestros más sinceros agradecimientos a las siguiente instituciones y empresas:

Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC)

Cementos de El Salvador S.A. (CESSA)

GRACE Construction Products

Concretera Salvadoreña

Gravas del Pacífico

Ya que con su literatura actualizada y la donación de sus productos fué posible concluir esta investigación.

Para los profesores que pacientemente nos dejaron con sus enseñanzas y recomendaciones en especial al Ing. M. Landaverde así como también a nuestro diligente equipo asesor y laboratoristas.

A todos..... por la fé y confianza que nos concedieron alentándonos a no parar hasta alcanzar nuestra meta.

AI ING. PORFIRIO LAGOS VENTURA

Nuestro Coordinador y Asesor del Trabajo de Graduación, por su colaboración y orientación en el transcurso de nuestro Seminario de Graduación.

AI ING. ROLANDO AMAYA DE LEON

Nuestro Asesor Externo, a quien agradecemos infinitamente el dedicarnos parte de su valioso tiempo, brindándonos su apoyo incondicional en todo momento y conducirnos hacia la realización de nuestra meta.

DEDICATORIA

Agradezco:

A Dios, por ubicarme junto a personas que me animaron en todo momento, brindandome su confianza y ayuda; fortaleciendome para perseverar hasta el final.

A MIS PADRES: Julio Alberto y Paula Santos, porque este triunfo es el resultado de sus esfuerzos y sacrificios.

A MIS SEGUNDOS PADRES: Cnel. Francisco J. Sol y Carmencita De Sol por sus consejos y ayuda incondicional.

A MIS HERMANOS: Elisa, Rosario, Andrés, Ana Gloria y Carmen

A MI TIA CHICA: a quien nunca podré recompensar lo fina que fue conmigo

A MIS TIOS: Cruz y Esperanza, por su cooperación por siempre

A: Brendita, Eduardito, Luis, Carlos , Maria Felix y Toño

A ANA DELMY: porque con su amor, apoyo moral y comprensión se mantuvo pendiente de mí, aún en los momentos más difíciles.

A: Pedro Oliva y Josefa, por darme su apoyo cuando más lo necesité.

A MIS GRANDES AMIGOS: Luis Antonio y Laura Inés, por transmitirme esa visión de superación continúa.

A mis abuelos, tíos, primos y demás familia, que directa o indirectamente me colaboraron.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS: Balmore y Oscar

Fernando

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso por sus bendiciones y por darme una meta que nunca me había propuesto, por darme todo lo que me ha dado ¡Gracias Señor!

A MI MADRE: Julia Santamaría (De gratos recuerdos) que Dios la colme de bendiciones. ¡Madre Bendita Seas!

A MI ESPOSA: Lilian Esperanza, porque tuvo la comprensión y paciencia para esperar que Dios me permitiera coronar mi carrera.

A MIS HIJAS: Mirla Kaori y Diana Lissett, porque les robe el tiempo que hubiera disfrutado y compartido juntos en sus primeros años de vida.

A MIS HERMANOS: Lilian, Cruz de Jesús y Vilma del Carmen con mucho cariño.

A MI CUÑADO: El Sacerdote Audulio Antonio Orellana con mucho respeto y estima.

A MI TIO: El Escritor y Poeta Julio Domingo Urrutia, por su apoyo cuando lo necesité, sin él no hubiera sido posible coronar mi carrera.

Finalmente a mis compañeros de trabajo y a todas las personas que no mencionó por su nombre, pero que me han apoyado. GRACIAS.

Oscar Orlando

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso por haberme permitido coronar mi carrera.

Dedico este triunfo a:

A MI MADRE: Rosa Isabel Vaquerano Espinoza que con su sacrificio y mucho amor supo guiarme en el camino del bien.

A MI PADRE: Juan Miguel Rodríguez Guardado (Q.D.D.G.),

A MIS HERMANOS: Elmer Antonio, Douglas Dagoberto Y Fabricio Ernesto por su apoyo incondicional.

A MI NOVIA: Denia Jaqueline López por su amor y comprensión

A MI DEMAS FAMILIA: que aprecio mucho

A MIS AMIGOS: que me han brindado una amistad sincera y en especial a Jorge Alberto Sosa, Enrique Umaña Portillo, José Luis Albáñez, Manuel De Jesus Peña y Luis Cabrera.

A MIS COMPAÑEROS

DE TESIS: Fernando y Oscar

Finalmente a todas las personas que no he mencionado, pero que me han apoyado. muchas gracias.

Balmore

RESUMEN DEL TRABAJO DE GRADUACION

TITULO : ESTUDIO DE CONCRETO CON ALTA RESISTENCIA A LA AGRESION PROVOCADA POR LA CONTAMINACION DEL MEDIO AMBIENTE (2a. PARTE)

PRESENTAN : ALBERTO SANTOS, S. F.; RODRIGUEZ VAQUERANO, M. B.; SANTAMARIA, O. O.

ORIGEN : UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TIPO DE DOCUMENTO : INVESTIGACION EXPERIMENTAL

FECHA DE PUBLICACION : AGOSTO, 1995

RESUMEN

Esta Investigación ha sido desarrollada con el propósito de adaptar la tecnología avanzada del concreto de países industrializados a las condiciones y necesidades de nuestro país, haciendo uso de los componentes existentes en el medio, a excepción de la microsíllica.

Este trabajo ha sido presentado en cuatro capítulos. En el primero se dan los antecedentes históricos del concreto, objetivos, alcances y limitaciones; así como también la Justificación del trabajo. En el segundo se dá un bosquejo teórico del tema al cual se le ha llamado "CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO", aquí también se describen los componentes y su comportamiento en el CGC dándosele principalmente un enfoque especialmente, al agregado grueso, superplastificante y a la microsíllica.

En el tercer capítulo se exponen las pruebas de laboratorio a los agregados, durabilidad y sus resultados.

En el cuarto capítulo se realiza el análisis de los resultados en base a las pruebas realizadas; así como un análisis estadístico de los resultados obtenidos de las pruebas de Resistencia a la Compresión a los 28 días, las conclusiones y recomendaciones.

Se realizaron tres mezclas, la 1ª llamada mezcla de control o mezcla "A" sin ningún aditivo y con una relación A/C=0.30, la 2ª llamada mezcla "B" a la cual

éste afecta las propiedades reológicas del CGC como a las propiedades del concreto endurecido.

Los materiales básicamente son los mismos que para los Concretos de Resistencia Normal (CRN), a diferencia de que a los CGC se les añade superplastificante y microsilica. Los agregados utilizados fueron con los que se lograron los mejores resultados en la Primera Investigación. La procedencia del agregado grueso fue de la Cantera La Cascada, San Diego, Departamento de La Libertad y el agregado fino de la Empresa Gravas del Pacífico ubicada en el puente sobre el Río Jiboa; el cemento utilizado es el existente en el mercado, Portland Tipo I (PM), el superplastificante fué el mismo utilizado en la Primera Etapa de esta Investigación y la adición, fue microsilica de la fábrica "GRACE". Las pruebas realizadas a los agregados fueron: el análisis granulométrico, impurezas orgánicas, gravedad específica y absorción, contenido de humedad, peso unitario del agregado grueso, resistencia al desgaste y prueba para contenido de partículas planas y alargadas.

En cuanto al método de diseño utilizado fué el "Método de Volumen Absoluto" conforme al ACI-211.1.81 modificados.

La fabricación de la mezcla se efectuó en una concreteira de una bolsa accionada por motor de gasolina. El revenimiento de la mezcla de concreto fué medido por el cono de Abrams y su consolidación fué realizada haciendo uso de un vibrador accionado por motor eléctrico.

Por otra parte se realizaron pruebas a la durabilidad del concreto con ácidos láctico y acético y con sulfatos como el de magnesio y sodio.

se le adicionó superplastificante y una relación $A/C=0.30$ y la 3ª mezcla "C" se le adicionó superplastificante y microsilica y una relación $A/C=0.33$.

A través de esta investigación se pretende obtener un mejor conocimiento sobre los CONCRETOS DE GRAN COMPORTAMIENTO (CGC); llamados así porque además de ofrecer una Alta Resistencia a la compresión también mejora la resistencia a los ataques de agentes químicos.

El CGC por sus características, tales como: Resistencia mecánica, impermeabilidad, resistente a los ataques de agentes ambientales, etc. lo sitúan como un material con grandes ventajas técnicas que difícilmente serán superadas por otros materiales.

Al disminuir el contenido de agua de la mezcla se pueden alcanzar mayores resistencias, aunque resultan poco trabajables; problema que fué resuelto con el advenimiento de los aditivos químicos superfluidificantes.

Sin embargo, los superfluidificantes tienen la limitante de no poder usarse en altas cantidades debido a su perjudicial efecto en el normal endurecimiento del concreto.

Hoy en día, gracias al desarrollo y empleo de nuevos materiales componentes para concreto, es posible introducir cambios significativos en la microestructura y es factible producir CGC con relaciones $A/C = 0.22$ a 0.35 .

Se discute asimismo los aditivos, tipos, compatibilidad existente entre cemento-aditivo, las formas de usarlos y como actúan; así como también como

El análisis de los componentes del CGC se basaron en las diferentes pruebas de laboratorio realizadas a éstos para el diseño de mezclas, o a la información retomada. Se realizó un análisis tanto al concreto fresco como endurecido; a este último a la resistencia a la compresión y a la durabilidad; además se hizo un análisis estadístico con especímenes de concreto a la edad de 28 días utilizando como herramienta la desviación estandar y el coeficiente de variación para el uso del Método Gráfico de la Curva Normal de frecuencia y al final se dan las conclusiones y recomendaciones.

INDICE

CONTENIDO	PAG.
CAPITULO I	
INTRODUCCION	
1.1.	GENERALIDADES 1
1.2.	ANTECEDENTES 4
1.3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 11
1.4.	JUSTIFICACION 12
1.5.	OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS 13
1.6.	ALCANCES 15
1.7.	LIMITACIONES 16
CAPITULO II	
CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO (CGC)	
2.1.	INTRODUCCION 17
2.2.	NOCIONES GENERALES 20
2.3.	PARAMETROS IMPORTANTES DEL CGC 22
2.3.1.	RELACION AGUA/CEMENTO ✓ 22
2.3.2.	— PROPORCION OPTIMA AGUA/CEMENTO ✓ 25
2.3.3.	— MATRIZ DEL CONCRETO ✓ 26
2.4.	COMPONENTES DE LA MEZCLA ✓ 28
2.4.1.	— CEMENTO ✓ 28
2.4.2.	— AGREGADOS ✓ 30
2.4.2.1.	— IMPORTANCIA DE LOS AGREGADOS ✓ 30

CONTENIDO	PAG.
2.4.2.2. REACCIONES QUIMICAS DE LOS AGREGADOS ✓	37
2.4.3. ADITIVOS ✓	40
2.4.3.1. SUPERPLASTIFICANTE ✓	45
2.4.3.2. COMPATIBILIDAD ENTRE EL CEMENTO Y EL SUPERPLASTIFICANTE ✓	48
2.4.3.3. COMO ACTUAN LOS ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES ✓	50
2.4.3.4. SUMINISTRO Y DOSIFICACION DE LOS SUPERPLASTI- FICANTES	52
2.4.3.5. APLICACIONES DE LOS SUPERPLASTIFICANTES ✓	52
2.4.3.6. PROPIEDADES REOLOGICAS DEL CGC ✓	54
2.4.3.7. PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO Ø ✓	55
2.4.3.7.1. ALTA RESISTENCIA A TEMPRANA EDAD DEL CONCRETO CON REDUCCION DE AGUA ✓	56
2.4.3.7.2. PROPIEDADES A LARGO PLAZO DEL CONCRETO CONTENIENDO SUPER PLASTIFICANTE	58
2.4.3.8. DURABILIDAD DEL CGC Ø	59
2.4.4. ADICIONES MINERALES	61
2.4.4.1. MICROSILICA	64
2.4.4.2. ORIGEN DE LA MICROSILICA	65
2.4.4.3. MICROSILICA PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS	65
2.4.4.4. COMPARACION DE LA MICROSILICA CON LAS ADICIONES TRADICIONALES	66
2.4.4.5. EFECTO DE LA MICROSILICA SOBRE EL CONCRETO FRESCO	69
2.4.4.6. REOLOGIA DEL CONCRETO CON MICROSILICA	71
2.4.4.7. EFECTO DE LA MICROSILICA SOBRE EL CONCRETO ENDURECIDO	73

CONTENIDO	PAG.
2.4.4.8. MEJORA DE LAS CARACTERISTICAS DEL CONCRETO	74
2.4.4.8.1. RESISTENCIA A LA COMPRESION	75
2.4.4.8.2. PERMEABILIDAD	76
2.4.4.8.3. DURABILIDAD	78
2.4.4.8.4. RETRACCION	81
2.4.4.8.5. CALOR DE HIDRATACION	82
2.4.4.8.6. MODULO DE ELASTICIDAD	83
2.4.4.8.7. RESISTENCIA A LA ABRASION	84
2.4.4.9. MANEJO Y COLOCACION DEL CONCRETO CON MICROSILICA	86
2.4.4.10. CURADO DEL CONCRETO QUE CONTIENE MICROSILICA	87
2.4.4.11. CONSIDERACIONES AL USO DEL CONCRETO CON MICROSILICA	88
2.4.4.12. SUMINISTRO Y DOSIFICACIONES DE LA MICROSILICA	90
2.4.4.13. COLOCACION Y MANEJO DEL CGC	91

CAPITULO III

GENERALIDADES

3.0	PRUEBAS DE LABORATORIO	95
3.1.	PRUEBAS A LOS COMPONENTES	96
3.1.1.	CEMENTO	96
3.1.2.	AGREGADO FINO	97
3.1.2.1.	ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA ARENA	98

CONTENIDO	PAG.	
3.1.2.2.	IMPUREZAS ORGANICAS EN ARENAS	103
3.1.2.3.	GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE LA ARENA	103
3.1.2.4.	CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA ARENA	106
3.1.3.	AGREGADO GRUESO	107
3.1.3.1.	ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO	109
3.1.3.2.	GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO	110
3.1.3.3.	PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO	115
3.1.3.4.	ENSAYO DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE CON LA PRUEBA DE LOS ANGELES	117
3.1.3.5.	PRUEBA PARA PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS EN AGREGADO GRUESO	119
3.1.3.6.	CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS GRUESOS	120
3.1.3.7.	SUPERPLASTIFICANTE	121
3.1.3.8.	MICROSILICA	121
3.2.	PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO	122
3.2.1.	DISEÑO DE MEZCLA	122
3.3.	CONCRETO FRESCO	136
3.3.1.	FABRICACION DE ESPECIMENES DE PRUEBA	136
3.4.	CONCRETO ENDURECIDO	142
3.4.1.	CURADO DE LOS ESPECIMENES	142
3.4.2.	CABECEO DE LOS ESPECIMENES	143
3.4.3.	PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESION	144
3.4.4.	PRUEBA DE RESISTENCIA AL ATAQUE DE AGENTES QUIMICOS	153

CONTENIDO	PAG.
CAPITULO IV	
ANALISIS DE LOS RESULTADOS	
4.1. COMPONENTES	162
4.1.1. CEMENTO	163
4.1.2. AGREGADOS FINOS	163
4.1.3. AGREGADOS GRUESOS	165
4.1.4. ADITIVOS	166
4.2. MEZCLAS DE PRUEBA	168
4.2.1. CONCRETO FRESCO	168
4.2.2. MANEJO Y COLOCACION	169
4.2.3. CONTROL	170
4.3. CONCRETO ENDURECIDO	171
4.3.1. RESISTENCIA A LA COMPRESION	172
4.3.2. PROYECCIONES DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO	173
4.3.2.1. ANALISIS ESTADISTICO A LA COMPRESION DEL CONCRETO	178
4.4. DURABILIDAD	186
4.4.1. ACIDOS ORGANICOS	186
4.4.2. SULFATOS	188
CONCLUSIONES	196
RECOMENDACIONES	200
ANEXOS	203
BIBLIOGRAFIA	216

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 GENERALIDADES

Para sustentar la vida moderna el hombre necesita imperiosamente de tres materiales básicos: hierro, petróleo y cemento (este último para fabricar mortero y concreto); con éstos se produce electricidad, transporte, viviendas, edificios, servicios públicos, etc.; se podría decir, que mientras que el hierro y el petróleo en algunas instancias puede ser sustituido, el mortero y el concreto en cambio es de imposible sustitución; por cuanto la humanidad seguirá empleando concretos indefinidamente en cantidades cada vez mayores; por esta razón la tecnología del concreto tiende a investigaciones cada vez más conscientes.

Debido al gran desarrollo y crecimiento de las ciudades se hace necesario diseñar edificios de mayor altura para optimizar el espacio disponible. El desarrollo tecnológico del Concreto, específicamente el CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO (CGC) podría ser de gran utilidad; si se tiene en cuenta que su resistencia a la compresión es superior a 420 kg/cm^2 ; obteniendo además mayor durabilidad (Alta resistencia a los ácidos orgánicos e inorgánicos y a los sulfatos) y menor permeabilidad.

Si tenemos en cuenta que El Salvador es un país subdesarrollado, conciente de sus limitaciones científicas y tecnológicas, con el agravante de los problemas causados por la contaminación del medio ambiente y la forma en que éstos inciden en las diversas obras civiles a base de concreto, se ha optado por buscar soluciones a este tipo de inconvenientes.

Una alternativa de solución son los concretos de gran comportamiento, los que a pesar de estar en etapa de investigación en países desarrollados, ya se tienen parámetros prometedores. Los resultados de estos estudios son retomados en nuestro país para realizar pruebas y fundamentar el uso de este tipo de concreto con cemento y agregados nacionales.

El presente trabajo de Graduación pretende darle continuidad a la investigación relativa al "ESTUDIO DE CONCRETOS CON ALTA RESISTENCIA A LA AGRESIÓN PROVOCADA POR LA CONTAMINACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE" que en lo sucesivo, se le denominará Parte I, el cual fué presentado por los bachilleres: José Alfredo Aguilar Coto y Oscar Mauricio Armando Reinoso Lozano, Tesis, UES, Julio de 1994.

Las amplias posibilidades de los concretos en referencia condujeron a una designación más general: Concretos de Altas Prestaciones (CAP), concretos de ultra alta resistencia en Europa y Concretos de Gran Comportamiento en otros países.

Se advierte en esta segunda investigación al igual que en la primera, que la comprensión de lo expresado en este documento, requiere de un conocimiento básico, pero sólido en el área de concretos, para asimilar lo vertido en el presente estudio; facilitando en esta medida su entendimiento, pues en la actualidad aún en los países desarrollados se encuentra en su fase de investigación e introducción a la industria de la construcción.

Para finalizar se espera que el esfuerzo de este estudio permita reafirmar y ampliar los conocimientos sobre este tipo de concretos, realizados en el primer estudio en el área de investigación de la Universidad de El Salvador.

1.2 ANTECEDENTES

Al inicio del siglo XIX se realizaron los primeros estudios científicos del comportamiento del concreto, se marca el comienzo de un uso mayor de este material. En 1801, F. Coignet publicó su tratado "Principios de la construcción", reconociendo la debilidad del concreto a la tensión.¹

En 1867, el jardinero Frances J. Monier, patentó: marcos metálicos como refuerzo de recipientes de concreto (macetas) para plantas, y Koenen en 1886 publicó el primer manuscrito sobre la Teoría y Diseño de las estructuras de concreto. En 1906, C.A.P. Torner desarrolló la primera losa plana sin vigas.¹

A partir de entonces algunos países se preocuparon por el estudio del concreto, de tal manera que en 1910 ya se habían establecido instituciones tales como: El Comité Alemán del concreto reforzado, el comité Australiano del concreto, el Instituto Americano del Concreto y el Instituto Británico del Concreto.

Sin embargo, el desarrollo de la industria del concreto ha sido muy lenta comparado con el desarrollo de otras industrias; ya que fué hasta 1918 que se empezó a utilizar la relación Agua/Cemento como herramienta para estimar su resistencia; pero a pesar de todo muchos edificios, puentes y recipientes para líquido, hechos de concreto reforzado ya existían por el año de 1920.

En 1938, se descubrió la introducción de aire en el concreto; por lo que se puede decir que fue hasta entonces que se descubrieron los aditivos para concreto. El humo de sílice (puzolana artificial conocida como microsilica) fué

¹ Edward G. Nawy, Concreto Reforzado, Pag. 2

utilizado por primera vez en el concreto en 1950, sin embargo no estuvo disponible a nivel industrial hasta en los años 70's. Por otra parte el desarrollo de los aditivos fluidificantes y superfluidificantes se inició en los 60's en Japón y luego en Alemania, en donde se ha extendido el uso de estos aditivos.²

Durante casi un siglo, el concreto estructural ha sido producido rutinariamente con una resistencia a la compresión de 200 ó 300 kg/cm² y eventualmente hasta 350 kg/cm². Ocasionalmente en circunstancias especiales, se obtuvieron resistencias mayores, y tal concreto se denominó como: "CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA" (CAR) hace 30 años el nombre de alta resistencia se aplicó al concreto con una resistencia arriba de los 420 kg/cm²; más recientemente este límite se elevó a 600 kg/cm². Tales concretos no se produjeron rutinariamente, pues se creyeron insuperables. Sin embargo, en los últimos 15 años, concretos con mucha mayor resistencia (920, a 1,120 kg/cm²) han entrado al campo de la construcción de edificios de gran altura, túneles y puentes; además de alta resistencia a la compresión, éstos presentan otras propiedades tales como: baja permeabilidad, alta densidad y resistencia a algunos tipos de ataques químicos dando como resultado una mayor durabilidad. A ésta generación de concretos se les denomina: "CONCRETOS DE GRAN COMPORTAMIENTO" (CGC) o "CONCRETOS DE ALTAS PRESTACIONES" (CAP). El Concreto de Alta Resistencia (CAR) se usó por primera vez en un rascacielos de 186 mts. de altura en Alemania construido en Frankfurt, el cual fue terminado en 1992. Este nombre de concretos de alta resistencia, aún es usado en vez de concretos de altas prestaciones, en Alemania y otros países europeos.

² Asociación del Cemento y el Concreto, "Aditivos Superfluidificantes para Concreto", IMCYC, Editorial Limusa, pag. 68

Si bien es cierto que el desarrollo de los CAR y CGC han comenzado en forma paralela en Estados Unidos (EE.UU.) y Europa, el uso de los "CAR" en edificios de altura ha tenido un desarrollo mayor en EE.UU.; sin embargo, la implementación de un proyecto nacional de investigación que abarque laboratorios y empresas; y que además coordine el esfuerzo de todos los centros, se ha desarrollado primeramente en Europa; más específicamente en Francia y Alemania.

También se han realizado estudios de CAP en Japón donde el Ministerio de la Construcción inició en 1988 un programa de 5 años para el "Desarrollo de Concretos Avanzados para la Construcción de Edificios" usando CAP.

Ha sido muy importante el desarrollo de los CAR en Chicago desde 1962, con resistencias características de 420 kg/cm^2 , llegando a utilizarse en 1989 (con el uso de humo de sílice), concretos de 980 kg/cm^2 y una columna experimental de 1200 kg/cm^2 en el edificio de 225 W. Wacker, Drive, en Chicago.

En Canadá el Gobierno estableció el "Network of Center of Excellence" en el área de los CGC, el cual incluye siete universidades y dos empresas particulares.

En EE.UU. se inicia un programa nacional de investigación de los CGC a través de un seminario taller (Workshop) conjunto de NIST-ACI (National Institute of Standard and Technology-American Concrete Institute) del 16 al 18 de mayo de 1990.

Hasta la fecha se han celebrado muchos congresos y simposios en los que se ha tratado como tema de fondo los CGC. La primera reunión en la que divulgaron los últimos avances de investigación y aplicaciones de este concreto tuvo lugar en Stavanger (Noruega) en 1987 en el Primer Symposium Internacional sobre la utilización de Concreto de Alta Resistencia. El Segundo Symposium se celebró en Berkeley (California) en 1990 y el Tercero tuvo lugar en París en 1993.

En 1989 se inauguró en Seattle (USA) el primer rascacielos en que se usó concreto con una resistencia de 1330 kg/cm^2 (19,000 PSI).

- En Europa se han realizado ya algunos proyectos con CAR tales como:
- El edificio Bauer-Druck en Cologne/Rhine en Alemania, el cual consta de 8 niveles y 54.6 mts de altura, cuyo sistema fué con columnas precoladas.
- Puente Boknasunder, la consultoría estuvo a cargo de la empresa consultora Aas-Jacobsen, Oslo Noruega.
- Plataforma Heidrun de patas a tensión, esta obra se está construyendo actualmente por contratistas Noruegos, es propiedad de Conoco y está programada para ser finalizada en este año de 1995.
- El puente Joigny, este es un diseño clásico de un puente continuo balanceado de 3 claros con tendones exteriores.
- Túnel submarino del Canal de la Mancha que une a Francia e Inglaterra, el de Gran Belt y otros.

Si nos referimos en materia de concreto en nuestro país, El Salvador, fué hasta en el período de 1905-1911 que se comenzó a utilizar concreto armado en la construcción del actual Palacio Nacional, y en 1950 que se comenzó a usar aditivos; utilizándose éstos en el Puente San Marcos Lempa (plastiment y plastimet de los fabricantes SIKA) y en el año de 1955 en las construcciones del muelle de Acajutla y la Catedral de San Salvador. Desde entonces a la fecha, es común encontrar obras civiles, cuyos elementos han sido diseñados utilizando concretos con resistencias a la comprensión que oscilan entre 180 y 280 kg/cm²; sin embargo concretos con resistencias mayores no son comunes; solo se han utilizado en elementos preesforzados, tales como las vigas postensadas de los puentes existentes en la autopista tramo Comalapa-San Salvador, y el tramo de carretera Comalapa-Zacatecoluca (CA-2), los cuales se diseñaron con f'c de 385 kg/cm² y pilotes prefabricados para las cimentaciones de la Torre Democracia en San Salvador con f'c de 400 kg/cm²³ sin embargo, se puede afirmar que los concretos de Gran Comportamiento (CGC) han sido utilizados en el país por primera vez, en la reparación del vertedero de la presa Hidroeléctrica "15 de Septiembre". Por otra parte, se han realizado investigaciones recientemente en la Universidad de El Salvador sobre esta nueva generación de concretos.

³ "Consulta con el Ingeniero Cristobal Escobar", CONTECSA



FIG. 1.1 La fotografía muestra el vertedero de la Presa Hidroeléctrica "15 de Septiembre" reparada a finales de mayo de 1995. (Cortesía del Ing. Rolando Amaya de León).

Las investigaciones realizadas en el "Estudio de Concretos con Alta Resistencia a la Agresión Provocada por la Contaminación del Medio Ambiente" Parte I, consistieron en el diseño y elaboración de un concreto de gran comportamiento (CGC) a nivel de Laboratorio, al cual se le realizaron pruebas en estado endurecido a los 7, 14, 28, 60 y 90 días, tales como: Resistencia a la

compresión (f_c), a la tensión y durabilidad, con 8 diferentes tipos de mezclas, utilizando aditivos (superplastificante) y adiciones (microsílica), las pruebas se realizaron con arenas de los Bancos más utilizados en la zona central del país: Río Las Cañas al Oriente de la ciudad de San Salvador y Jiboa (Gravas del Pacífico) en el Departamento de La Paz, el agregado grueso fué de la Cantera de San Diego (La Cascada), en el Departamento de La Libertad.

Las pruebas de durabilidad fueron realizadas a los 60 días, probándose sólo con mezclas en las cuales se utilizaron arenas del Río Las Cañas; con pruebas a tensión a los 90 días.

En esa investigación se llegó a la conclusión, que las arenas del Río Jiboa, presentan mejores resultados; en cuanto a la resistencia a la compresión la mayor fué 634 kg/cm^2 a los 60 días, con 1.5 % (en peso del cemento) de aditivos superplastificantes y sin microsílica.

1.3 PLANTEAMIENTO Y DELIMITACION DEL PROBLEMA

En la actualidad, el medio ambiente se ha visto envuelto en un proceso acelerado de contaminación, esta contaminación ha generado problemas difíciles de resolver; debido a lo extenso y complejo que resulta este fenómeno. Por esta razón el hombre ha recurrido a los conocimientos y tecnologías disponibles, con el fin de resolver, o al menos reducir los efectos generados por la contaminación.

La gran mayoría de obras civiles están hechas a base de concreto reforzado, este material es susceptible al ataque de ácidos, sales, gases de carburación, etc., que son producto de los agentes contaminantes presentes en el aire, el agua y las lluvias ácidas. Estas sustancias agresivas pueden provocar daños y degradaciones en la estructura del concreto a nivel molecular.

Debido a que la polución va en aumento y con el paso de tiempo este problema se agrava, se hace necesario investigar alternativas que generen concretos más resistentes a la agresión provocada por la contaminación del medio ambiente, para que la vida útil de las estructuras no sea afectada de manera apreciable.

1.4 JUSTIFICACION DEL TRABAJO

Como resultado de una irreversible evolución que ha tenido la industria de la construcción a lo largo del tiempo; se ha llegado a un punto tal que en la actualidad el concreto reforzado es el principalmente usado en la realización de obras civiles, por lo que es de suma importancia estudiar tanto sus propiedades, como algunos ataques del medio ambiente que le rodea.

Se sabe que el concreto es un material que en condiciones normales de servicio, tiene una vida útil larga; sin embargo, considerando que en nuestro medio las condiciones de exposición en algunos casos son muy agresivas, se hace necesario un "Estudio de Concreto con Alta Resistencia a la Agresión Provocada por la Contaminación del Medio Ambiente".

Es importante recalcar que este tipo de concretos no se usan prácticamente en el país; sin embargo en elementos preesforzados se han usado resistencias a la compresión hasta de 400 kg/cm^2 en elementos prefabricados.

En el país se ha iniciado una primera investigación sobre los concretos de gran comportamiento; por lo que es necesario continuar investigando las propiedades de estos concretos, tanto en su estado fresco como endurecido.

1.5 OBJETIVOS

A. OBJETIVOS GENERALES

- Realizar investigaciones que conduzcan a mayores conocimientos sobre los CGC.
- Proporcionar información a nivel experimental sobre los concretos de gran comportamiento, para la correcta aplicación al diseño de obras especiales, donde se requiera la utilización del mencionado concreto.

B. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Ampliar la información obtenida en la investigación realizada a nivel experimental sobre el "Estudio de Concretos de Alta Resistencia a la Agresión Provocada por la Contaminación del Medio Ambiente" Parte I, de las propiedades más importantes del CGC, tales como: resistencia a la compresión, trabajabilidad y durabilidad.
- Analizar el comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas del concreto fresco y endurecido utilizando diferentes tipos de mezclas.
- Elaborar mezclas experimentales con agregados disponibles en nuestro medio utilizando diferentes diseños de mezcla para determinar el comportamiento del concreto fresco y endurecido

- Ampliar la información para elaborar: gráficas, tablas, cuadros, etc. que permitan apreciar los efectos de algunos factores en las propiedades de las mezclas.
- Se hará la cantidad suficiente de especímenes según lo establece el Comité ACI-214 y el Comité ACI-704-4; para hacer un análisis estadístico.
- Verificar la resistencia del concreto al ataque de algunos ácidos orgánicos como el ácido láctico y acético y sulfatos como el sulfato de magnesio y sodio.
- Fundamentar las bases para ampliar futuras investigaciones del Concreto de Gran Comportamiento, estableciendo parámetros importantes para la realización del diseño teórico-experimental.

1.6 ALCANCES

Dentro de los alcances del trabajo de Graduación se encuentran:

- La elaboración de mezclas de concretos de gran comportamiento a nivel experimental con los agregados nacionales que se obtuvieron mejores resultados en la investigación de la Parte I.
- Elaboración de diferentes diseños de mezcla que involucre distintas relaciones A/C, superplastificante y microsíllica, para determinar el comportamiento de CGC en estado fresco y endurecido.
- Ampliar la información necesaria para la elaboración de gráficas, cuadros y análisis estadístico que permitan apreciar las propiedades de las mezclas de este tipo de concretos.
- Desarrollar mayores investigaciones del Concreto de Gran Comportamiento, estableciendo parámetros importantes para la realización del diseño teórico y experimental.

1.7 LIMITACIONES

- El estudio de los CGC se limita en cierta manera a la utilización de agregados nacionales, así como a la disponibilidad de aditivos y adiciones existentes en el país.
- La no disponibilidad de un equipo de laboratorio especial para realizar algunas pruebas a los concretos de gran comportamiento (CGC) como lo son las pruebas de permeabilidad, fluidez y otros; limitan en alguna manera la realización de éstas.
- Son relativamente pocos los países Hispanos que están investigando o han investigado los CGC, por lo que no se cuenta con información suficiente, por ser un tipo de concreto que está en proceso de investigación.
- Actualmente pocos profesionales en el país tienen conocimiento pleno de lo que son CGC, debido a que éstos están en vías de investigación y desarrollo.

CAPITULO II

CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO

2.1. INTRODUCCION

Las características de los Concretos de Resistencia Normal (CRN), entre las que cabe destacar su buena resistencia mecánica, gran durabilidad al estar en contacto con el agua y agentes ambientales, carencia de mantenimiento, posibilidad de adaptarse a cualquier forma y dimensiones de los elementos estructurales, así como la posibilidad de incorporar a su masa escorias y puzolanas, hacen del concreto un material con grandes ventajas técnicas, además de las económicas, que es difícil sea superado por otros materiales. Sin embargo, posee algunos inconvenientes, como son: elevado peso propio (una de las principales desventajas del CRN cuando forma parte de estructuras altas de edificación o de puentes), variaciones volumétricas, calor de hidratación, dificultad de demolición, etc.; a pesar de todo estos factores no son determinantes para limitar su uso, ya que como se dijo al inicio de este documento, éste es de difícil sustitución.

El Concreto de Gran Comportamiento (CGC) ha venido a disminuir algunos de estos inconvenientes al presentar una elevada resistencia mecánica, menor permeabilidad y mayor durabilidad que permiten emplearlo con éxito en obras en que el concreto tradicional sería antieconómico, y técnicamente no recomendado. Muchas de las estructuras que se hacen con acero, es posible que dentro de algunos años pasen a construirse con CGC por razones técnicas y económicas.

Hasta hace poco tiempo parecía que se había alcanzado el techo de la resistencia del concreto, de tal manera conseguir un concreto de 450 Kg/cm^2 exigía un control tan estrecho que difícilmente se obtenía.

Se sabía perfectamente que disminuyendo el contenido de agua de la mezcla se podían alcanzar resistencias mayores⁴, pero las mezclas resultantes eran excesivamente secas para poder ser trabajables. Posteriormente aparecieron los aditivos químicos fluidificantes y superplastificantes, que evitaban éste problema; sin embargo, éstos aditivos tenían el inconveniente de no poder utilizarse en altas cantidades, debido a su perjudicial efecto sobre el normal endurecimiento del concreto; ya que su período de trabajabilidad es muy corto (30-60 minutos); aunque en la actualidad existen superplastificantes retardantes, que prolongan su período de trabajabilidad.

Gracias al desarrollo y al empleo de nuevos materiales componentes para el concreto, capaces de introducir cambios significativos en su micro-estructura y comportamiento, es factible hoy en día fabricar concretos de altas prestaciones (de Gran Comportamiento) sin tener que recurrir a técnicas particulares; los concretos con relaciones agua/cemento con un rango de 0.22 - 0.35, desarrollan resistencias a compresión a los 28 días superiores a 785 Kg/cm^2 e incluso 980 Kg/cm^2 , se pueden fabricar si la calidad de los materiales es buena y si se usa un Reductor de Agua de Alto Rango.

Los aspectos importantes para este tipo de concretos son las dosificaciones de superplastificantes, agregados limpios y resistentes, altos

⁴ Revista Cemento-Hormigon No. 709. Composición y Dosificación de los Hormigones de Alta Resistencia. Manuel Fernández Canovas y Pilar Alaejos Gutierrez. Pag. No. 972

contenidos de cemento y la inclusión de adiciones apropiadas, especialmente humo de sílice.

Estos Concretos de Gran Comportamiento (CGC) han encontrado su principal aplicación en edificios de gran altura, puentes y en concreto pretensado, donde se necesita una alta resistencia mecánica; sin embargo, además de su alta resistencia mecánica, estos concretos tienen otras características derivadas de su alta densidad y compacta microestructura. Además se ha comprobado que estos concretos son mucho menos permeables y, por consiguiente más resistentes a las agresiones externas, tales como los ataques químicos; por cuanto, se obtiene una mayor durabilidad.

2.2 NOCIONES GENERALES

En los últimos años, las prestaciones requeridas a algunos tipos de concreto se han incrementado, tanto en número como en nivel de exigencias. Ello conduce a lo que podría llamarse concretos de altas prestaciones. Si la prestación principal es la resistencia, la nomenclatura utilizada sería Concreto de Alta Resistencia.

Es necesario mencionar algunos principios que hacen al desarrollo de estos nuevos tipos de concretos (CGC), que implican una modificación de las pautas de investigación de éstos, tanto en lo que respecta a las técnicas de laboratorio, como a su producción y colocación en obra. Este desarrollo de los CGC es un esfuerzo conjunto entre:⁵

- a. Laboratorios
- b. Productores de concreto
- c. Calculistas de estructuras
- d. El constructor; para su colocación, compactación y curado
- e. El tecnólogo del concreto; para el control de calidad y las especificaciones.

Cualquier falla en alguna de estas etapas trae como consecuencia un deterioro de la calidad del material y una reducción de la calidad buscada.

Por otra parte la introducción de nuevos aditivos y materiales cementantes ha hecho posible la producción de un concreto altamente trabajable y que, al mismo tiempo, tiene propiedades mecánicas superiores y mayor durabilidad.

⁵ Revista "Cemento-Hormigon" No. 730, Juan y Forio Buchas. Hormigones de Alta Performance. Marzo 1994. Pag. No. 329

Entre estas propiedades podemos citar:

- Facilidad de colocación y compactación sin segregación
- Alta resistencia inicial
- Tenacidad superior
- Estabilidad volumétrica
- Alta durabilidad ante medios agresivos

Algunas características que hacen diferentes a estos concretos son:

- a. La dosificación del CGC es más compleja que los CRN, debido a la mayor cantidad de factores optimizados.
- b. Los CGC son sistemas químicos más complejos con altos contenidos de cemento y, por ende, muy dependientes de la temperatura.
- c. El mezclado de los CGC establece un mayor requerimiento al elaborador de un CRN.
- d. Es importante asegurarse (en un grado mayor que en los CRN) que las propiedades del concreto colocado sean iguales al determinado en laboratorio.
- e. Los criterios de aceptación del concreto deben tener en cuenta el miembro estructural en el que se colocará, debido a que la importancia de cada característica mecánica no es la misma para cada miembro estructural.

Además de las características mencionadas, aún hay muchos aspectos que deben ser investigados y analizados.

2.3 PARAMETROS IMPORTANTES EN EL CGC

Los parámetros de la mezcla sobre los que se debe actuar para un CGC son numerosos. Algunos de estos parámetros y su influencia en los concretos se indican a continuación:

- Relación Agua/Cemento (A/C)
- Proporción óptima de A/C
- Matriz del concreto
- Forma, textura y resistencia de los agregados

2.3.1 RELACION AGUA/CEMENTO

Este es el factor fundamental para conseguir Concretos de Alta Resistencia, entre otras propiedades (aunque no depende solamente de la relación agua/cemento) y por ende para obtener Concretos de Gran Comportamiento.

En general, se puede decir que si se pretende obtener un concreto con una resistencia superior a los 500 Kg/cm², la relación agua/cemento necesariamente tiene que ser inferior a 0.4, las relaciones normalmente usadas están alrededor de 0.35. Para los concretos con resistencias cercanas a los 1000 Kg/cm² dicha relación suele bajar de 0.30.

La relación de dependencia entre la resistencia del concreto y su relación agua/cemento se conoce desde hace mucho tiempo (1918), y la expresión propuesta es del tipo $1/x$, con una serie de coeficientes que dependían del tipo

de cemento empleado y de los agregados (rodados o triturados). Sin embargo, el aumento de resistencia al disminuir esta relación tiene un límite; éste es cuando la relación agua/cemento se aproxima al valor necesario para completar una correcta hidratación del cemento, la resistencia no continua aumentando, o incluso puede llegar a disminuir. Este valor límite en teoría está alrededor de 0.27, según algunas investigaciones⁶; otras investigaciones sitúan este valor entre 0.22 y 0.25⁷.

Este problema es más complicado cuando se utilizan adiciones minerales como la microsilica. La acción puzolánica, para producirse, necesita la presencia de agua, y en estas reacciones también se combina parte del agua añadida a la mezcla, hidratando los productos resultantes de las reacciones puzolánicas, restándosela a la hidratación del cemento. Por este motivo, en las mezclas con adiciones minerales el valor crítico de la relación agua/cemento puede ser superior al de hidratación completa del cemento, ya que parte del agua colabora en las reacciones puzolánicas. El valor de la relación agua/cemento crítica, por debajo de la cual no se produce aumento de resistencia, e incluso se puede producir una disminución, depende entre otros factores, del tipo y de la cantidad de adición, presente en la mezcla⁷.

De acuerdo a las investigaciones antes mencionadas, cuanto menor sea la relación agua/cemento del concreto, mayor será su resistencia, siempre que el agua añadida a la mezcla sea suficiente para hidratar convenientemente el cemento y completar las reacciones puzolánicas de las adiciones activas. Si el

⁶ Revista "Cemento-Hormigón" No. 709. Manuel Fernandez-Canovas y Pilar Alaejos Gutierrez. Composición y Dosificación de los Hormigones de Alta Resistencia. pag. 974

⁷ Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C. Editorial IMCYC, pag. 3

agua de la mezcla es inferior a este valor, en el mejor de los casos no obtendremos incremento de resistencias, y además tendremos unas mezclas intrabajables; por lo que se hace necesario recalcar, que sin un reductor de agua (superplastificante) no se puede obtener una relación agua/cemento menor de 0.4⁸ y además, un concreto que sea trabajable.

La reducción del agua de mezclado (relación agua/cemento) tiene como resultado la reducción de la distancia entre las partículas del cemento; conforme se reduce la relación A/C, siempre y cuando se realice una correcta hidratación. En términos básicos, la resistencia del concreto es una función de los huecos totales contenidos en el material, siempre que los enlaces de cohesión y adhesión sean suficientemente fuertes.

En otras palabras, a primera vista parecen existir dos factores influenciando la resistencia del CGC: la relación agua/cemento y la reducción de la distancia entre las partículas del cemento al principio de la hidratación (sin tomar en cuenta las propiedades de los agregados).

Se puede afirmar, que los cementos se hidratan con mayor rapidez que los materiales cementantes suplementarios y por tanto absorben la mayor parte de agua de mezcla. Por este último factor, es tentador concluir que la densidad de la matriz en la primera etapa del fraguado está regida por la relación agua/cemento. Sin embargo, en realidad las partículas finas de la escoria de altos hornos y ceniza volante participan en las reacciones hidratantes antes que algunas de las partículas de cemento más grueso lo hagan, debido a su extrema finura.

⁸ Revista ASIA No. 109 "Desmitificando el Concreto de Alto Comportamiento. Pag. No. 21" por Pierre Claude Aitcin y Adam Neville, Traducido por Miriam Koch de Amaya.

Por lo tanto, se puede concluir que como están los conocimientos en el presente y la forma como actúa el agua en la hidratación, es preferible citar dos situaciones: la relación A/C y la $A/(C+P)$. Esta última se refiere a la relación agua/cemento+puzolana.

2.3.2 PROPORCION OPTIMA DE RELACION AGUA/CEMENTO

Es necesario recordar que la resistencia a la compresión está relacionada inversamente a la relación agua/cemento. Como ya se mencionó, en el caso del CGC un incremento en la densidad de la matriz también incrementa la resistencia. La combinación de los dos efectos: agua/cemento y densidad de la matriz proporciona una situación en la cual la relación agua/cemento influyen a la resistencia solamente por encima de un cierto valor mínimo de esta relación. Para los cementos Portland y los reductores de agua de alto alcance, que se pueden obtener hoy en día, los métodos de mezclado y colocado usuales, con las prácticas de curado utilizadas actualmente, se ha encontrado que el valor óptimo de la relación agua/cemento es cerca de 0.22⁹, la influencia del agua/cemento es operativa; valores más bajos son perjudiciales porque una densidad alta adecuada de la matriz no se puede obtener. Aunque no se debe subestimar características de los agregados gruesos como lo son: forma, tamaño y textura superficial que también intervienen en la determinación del valor óptimo.

Sin embargo, otros estudios han determinado que el valor óptimo de la relación agua/cemento es aproximadamente de 0.27¹⁰, como ya se mencionó anteriormente.

⁹ Revista Cemento-Hormigón, No 109, Composición y Dosificación de Hormigones de Alta Resistencia, Agosto 1992, Pag 974

¹⁰ Revista ASIA No 109, Por Pierre Claude Aitcin Y Adam Neville, pag 24

En la primera investigación realizada en la Universidad de El Salvador se sugiere para materiales utilizados en dicha investigación (con uso de microsilica), una relación agua/cemento de 0.33 ó mayor; ya que con este valor se obtuvo la mayor resistencia.

2.3.3 MATRIZ DEL CONCRETO

En los CGC la matriz del concreto es muy importante; ya que la mayoría de sus propiedades dependen de la densidad de la matriz, un incremento de ésta, también incrementa la resistencia mecánica, la permeabilidad, la durabilidad, etc.

La densidad de la matriz está regida por la relación agua/cemento en la primera etapa del fraguado. Es necesario recordar que una reducción drástica en el agua del mezclado tiene como resultado la reducción de la distancia entre las partículas del cemento. Por consiguiente, se obtiene una matriz del cemento más densa que el CRN, y los productos de hidratación del cemento se funden rápidamente.

Para aumentar la densidad de la matriz es importante tener en cuenta que una buena granulometría (adecuada distribución de partículas); un agregado fino con módulo de finura próxima a 3.0 y una adición como la microsilica, que además de proporcionar silicato de calcio adicionalmente, actúa en los CGC como microrelleno.

La porosidad muy baja de la pasta de cemento hidratada en los CGC contrasta con el CRN, en donde el agua de mezcla combinada crea una red

abierta de poros que reduce la densidad de la matriz y, por ende conduce a una resistencia a la compresión más baja que en el CGC¹¹.

Los reductores de agua de alto rango (superplastificantes) defloculan las partículas de cemento, logrando con esto una mezcla fluida, disminuyendo la porosidad del concreto al disminuir el agua, aumentando de esta manera la densidad de la matriz.

La microsilica es muy importante en la densidad de la matriz, ya que por medio de ella se consigue reducir el tamaño de los poros de una forma más eficaz, que la que se puede obtener con la simple reducción de la relación agua/cemento a que dan lugar los superplastificantes.

Los dos efectos de la microsilica puzolanicidad y refinamiento de poros, dan lugar a un concreto más compacto y por lo tanto de mayor resistencia mecánica, además de otras propiedades.

¹¹ Revista ASIA No. 109, "Desmitificando el Concreto de Alto Comportamiento" Pag. #23. Por Pierre Claude Aitcin y Adam Neville

2.4 COMPONENTES DE LA MEZCLA

El CGC por lo general es un sistema heterogéneo compuesto por materiales cementantes, agregados finos y gruesos, agua y aditivos.

Los materiales cementantes son sustancias que por sí solas tienen propiedades hidráulicas cementantes (fragan y endurecen en presencia del agua).

Para la elaboración de concretos de gran comportamiento deben usarse arenas y agregados gruesos sanos, limpios, densos y muy bien graduados, cuya superficie garantice una perfecta adherencia a la pasta de cemento; es indispensable el empleo selectivo de materiales; entre otras características. En lo que se refiere a materiales, es primordial una cuidadosa selección, tanto de los agregados como del cemento.

2.4.1 CEMENTO

El cemento a utilizar debe tener una composición uniforme, las diferencias en la composición química de cementos pertenecientes a diferentes tipos, pueden provocar problemas de efectividad con los superplastificantes, para evitar este problema un cemento ideal para CGC sería, un cemento no muy fino con un contenido de aluminato tricalcico muy bajo (C_3A), de endurecimiento rápido, y con una fase intersticial cuya reactividad sea controlada fácilmente por los iones de sulfato presentes en el cemento¹².

¹² Revista ASIA No. 109, pag. No. 25, "Desmitificando el Concreto de Alto Comportamiento" por Pierre Claude Aitcin y Adam Neville

La composición química y la finura del cemento juegan un papel importante para su selección en los CGC. Basándose en una investigación de la Asociación del Cemento Portland (PCA), algunas autoridades recomiendan el empleo de un cemento de finura moderadamente elevada junto con un gran porcentaje de silicato tricálcico (C_3Si)¹³.

Algunas normas como las Españolas especifican que los cementos utilizables en la fabricación de Concretos de Alta Resistencia: deben tener un porcentaje de clinker mayor o igual al 90%¹⁴.

La selección del cemento Portland para los CGC no se debe basar exclusivamente en las pruebas de cubos de mortero, sino que también se debe incluir resistencias comparativas de concretos al 28, 56 y 90 días. El cemento que proporcione la mayor compresión del concreto a edades prolongadas (90 días), será sin lugar a dudas el preferible. El cemento a usar en CGC deberá producir una resistencia mínima en cubos de mortero a 7 días de aproximadamente 295 kg/cm².¹⁵

Las mezclas de prueba deberán fabricarse con contenidos de cemento entre 380 y 560 kg/m³ para cada cemento, dependiendo las cantidades de las resistencias deseadas. Además de los decrementos del contenido de arena a medida que aumente el contenido de cemento, las mezclas de prueba deberán ser lo más parecidas posible teniendo un revenimiento entre 7.5 y 10 cms¹⁵.

¹³ Concretos de Alta Resistencia: Técnicas de Producción. Revista IMCYC No. 164, pag 14

¹⁴ El Hormigón de Alta Resistencia en la EP-93, Revista Cemento-Hormigón-Revista Técnica No. 733, Pag. 701

¹⁵ Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C. Editorial IMCYC, Pag. No. 203

Por otra parte es importante en los CGC la compatibilidad entre el cemento y el reductor de agua de alto alcance; debido a que no todos los cementos son compatibles con todos los ingredientes ó no todos garantizan la calidad del cemento.

No debe perderse de vista que la bibliografía existente sobre los concretos en estudio, señala que para cada dosificación existe un contenido óptimo de cemento que produce las mayores resistencias (alrededor del 10%)¹⁶.

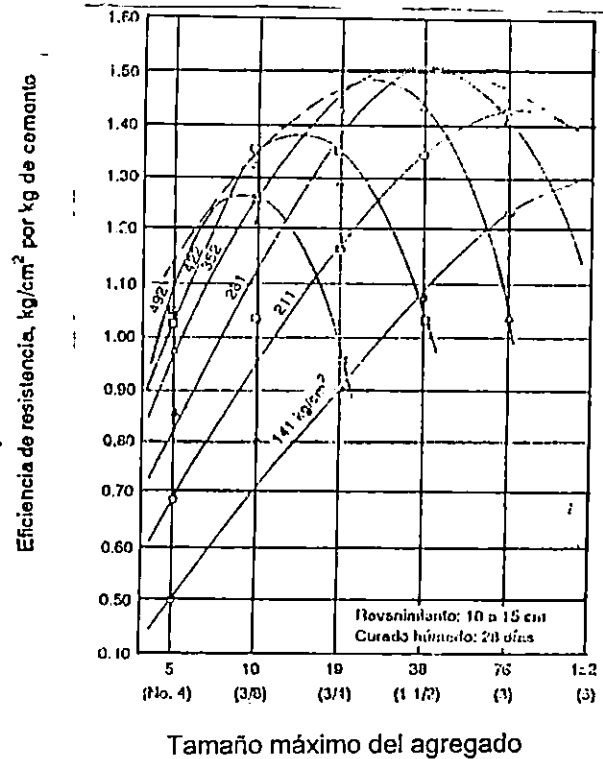
2.4.2 AGREGADOS

2.4.2.1 IMPORTANCIA DE LOS AGREGADOS

Se debe dedicar una esmerada atención al tamaño, forma, textura superficial, mineralogía y limpieza de los agregados, tanto gruesos como finos. Para cada fuente de agregado y nivel de resistencia del concreto existe un tamaño óptimo de agregado que producirá la mayor resistencia a compresión por kg de cemento (ver Gráfica No. 2.1 Pag. 31)

¹⁶ Revista Cemento-Hormigón, Noviembre 1994 No. 738. Dosificación de Hormigones de Alta Resistencia

GRAFICA No. 2.1:
Tamaño máximo de
agregado para la en
volvente de eficiencia
de resistencias (To -
mado de diseño y -
control de mezclas
de concreto).



Para encontrar el tamaño óptimo en la elaboración de los CGC, se deberán hacer mezclas de prueba con agregados de 19 mm (3/4") y menores, y contenidos variables de cemento. Muchos estudios han descubierto que los agregados con tamaños máximos de 9.5 mm (3/8") a 12.7 mm (1/2") parecen dar una resistencia óptima. También se han usado con éxito tamaños máximos de 19 mm (3/4") y de 25.4 mm (1"). El efecto del tamaño máximo en las mezclas ricas es más importante a 90 días que a 28 días.

A parte de las propiedades a la compresión, son importantes otras dos propiedades del agregado grueso:

- a. su capacidad de adherencia será mejor mientras menor sea el tamaño de la partícula, pero estará sujeta, por supuesto, a que no se incremente la cantidad de agua más allá de los límites críticos y

- b. que la contracción y la fluencia se mantengan dentro de los valores razonables.

Por otra parte deben preferirse los agregados de roca triturada sobre la grava redondeada. De hecho existe un límite más allá del que los agregados de grava redondeada son inadecuados, límite que se alcanza, cuando se trata de una resistencia del concreto del orden de los 715 kg/cm^2 o más¹⁷; esto significa que se pueden obtener CGC, pero con una resistencia a la compresión limitada.

Esta es la razón por la cual se recomienda las gravas trituradas, ya que con éstas se logra mayor adherencia con la pasta, con respecto a los agregados de canto rodado. Sin embargo, se tiene el inconveniente de la mayor demanda de agua que, para igual consistencia, presentan los agregados triturados, debido a la mayor superficie a mojar, lo que hace necesario que el agregado presente un buen coeficiente de forma (cúbica), a fin de mejorar la trabajabilidad.

Un agregado grueso de buena calidad es fundamental para producir los CGC; después de todo, no tiene caso producir una pasta de cemento con una alta resistencia y buenas propiedades de adherencia solo para encontrarse con las fallas del concreto a una resistencia inferior, por la fracturación del agregado.

Las pruebas realizadas han demostrado que los agregados con absorción moderada o sin absorción alguna producen concretos de resistencia más alta en comparación con agregados más absorbentes¹⁸.

¹⁷ Concretos de Alta Resistencia: Técnicas de Producción. Revista IMCYC No. 164, pag 15

¹⁸ Concretos de Alta Resistencia: Técnicas de Producción. Revista IMCYC No. 164, pag. 15

En el CRN, la resistencia del agregado, por sí mismo, tiene una función menos importante (porque el esfuerzo a la compresión de la pasta es mucho mayor) que en los CGC, en estos últimos, la unión entre el agregado y la pasta de cemento hidratada es tan fuerte que resulta en una transferencia significativa del esfuerzo a través de la interfase pasta-agregado. Al mismo tiempo la resistencia durante la fase de pasta de cemento es muy alta, y algunas veces, más alta que la resistencia de las partículas del agregado. Al observar las fracturas de la superficie en el CGC se ha demostrado que pasan a través de la pasta de cemento. Efectivamente, en algunas circunstancias, la resistencia de las partículas del agregado es el factor limitante en la resistencia a la compresión del concreto.

De lo dicho anteriormente, se deduce que las propiedades de los agregados, especialmente la fracción gruesa, tienen una influencia considerable en las propiedades del CGC resultante¹⁹.

Desde el punto de vista petrográfico, se ha encontrado que rocas de grano fino como algunos tipos de piedra caliza, piedra dolomítica, granito y de origen basáltico son igualmente buenos; puede haber otras rocas que produzcan agregado excelente para la elaboración del CGC, los cuales tendrían que ser comprobados por medio de ensayos²⁰.

Se sabe que las propiedades del agregado influyen el módulo de elasticidad del concreto, así como sus propiedades térmicas; éstas son cruciales

¹⁹ Revista ASIA No. 109 "Desmitificando el Concreto de Alto Comportamiento". Pag. Nos. 30 y 31

²⁰ Revista ASIA No. 109 "Desmitificando el Concreto de Alto Comportamiento". Pag. Nos. 30 y 31

principalmente en los casos donde el concreto sufre una extensa y repetida variación de la temperatura.

La selección de un agregado adecuado para la elaboración de los CGC es muy importante. Las características de los agregados son básicas para conseguir un concreto de muy alta resistencia; además de otras propiedades. Los ensayos que pueden darnos la idea si se trata de un agregado de calidad son: su resistencia a la compresión, densidad, prueba de los Angeles y otros.

En cuanto a la forma de las partículas de los agregados según su geometría se clasifican en: redondeadas, cúbicas, lajosas y agujas. Estas últimas dos no son recomendables para su uso; debido al peligro a que son expuestas, cuando se les aplica el esfuerzo que deben soportar; con respecto al agregado grueso se ha encontrado que son excelentes las gravas de minas y fluviales (canto rodado) para los CGC. Los agregados triturados son buenos, como ya se dijo, con la condición de que las partículas trituradas sean casi todas de forma cúbica, con un mínimo de partículas planas o alargadas. Estas últimas tendrían un efecto adverso en la trabajabilidad. En general la forma, textura y granulometría son determinantes para el grado de fluidez en los CGC.

Se ha demostrado mediante pruebas, que los agregados triturados producen una mayor resistencia a compresión en el concreto, que los agregados de grava natural usando el mismo tamaño de agregado y el mismo contenido de cemento²¹, probablemente se deba a una superior adherencia entre el agregado y la pasta, cuando se emplean materiales ásperos, angulares y triturados.

²¹ Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C. Editorial IMCYC. Pag. No. 204

Algunos investigadores en España han realizado pruebas con CGC utilizando agregado grueso triturado de diferente origen, pero del mismo tamaño y la misma dosificación de los componentes e inclusive microsilica obteniendo diferencias notables tanto en la consistencia como en la resistencia. Los resultados se muestran en la Tabla No. 2.1.

Mezcla con 15% Microsilica			
AGREGADO (ORIGEN)	CONO REVENIM. (CMS)	MESA FLUIDEZ (%)	f'c(a 28 días) (KP-cm ²)
Granito	18	84	942
Caliza	9	56	1042
Basalto	3	32	1087

TABLA 2.1: Mezcla de CGC con la misma dosificación y tamaño, pero con diferentes tipos de agregados gruesos (Tomado de la Revista Cemento-Hormigón, Dosificación de hormigones de Alta Resistencia, Pág. 1318).

Los agregados gruesos empleados en los CGC, deberán estar limpios, es decir, libres de recubrimientos perjudiciales de polvo y arcilla. La remoción de polvo es importante, porque puede afectar la cantidad de finos y, en consecuencia, la demanda de agua. La arcilla puede afectar la unión entre la pasta y el agregado. El lavado de los agregados gruesos podría llegar a ser necesario.

A causa del alto porcentaje de material cementante en los CGC, es necesario y permisible un incremento en el contenido del agregado grueso por encima de los valores recomendados en las especificaciones para mezclas de CRN; haciendo ésto se aumenta su módulo de elasticidad, se reduce la retracción, disminuye pasta y aumenta su resistencia.

En la tabla que se muestra a continuación se mencionan las propiedades más importantes del concreto que dependen de las propiedades de los agregados:

PROPIEDADES DEL CONCRETO	PROPIEDAD MAS IMPORTANTE DEL AGREGADO
Durabilidad resistencia a la abrasión reacción álcali-agregado	dureza presencia de ciertos componentes silíceos especiales
Resistencia mecánica	resistencia mecánica textura superficial limpieza forma de las partículas tamaño máximo
Retracción	módulo de elasticidad forma de las partículas granulometría limpieza tamaño máximo presencia de arcilla
Peso unitario	peso específico forma de las partículas granulometría tamaño máximo
Módulo de elasticidad	módulo de elasticidad módulo de Poisson
Economía	forma de las partículas granulometría tamaño máximo procesamiento necesario disponibilidad

TABLA No. 2.2: propiedades más importantes del concreto que dependen de las propiedades del agregado (Tomada de Revista ASIA No. 101, Sept. 1991)

2.4.2.2 REACCIONES QUIMICAS DE LOS AGREGADOS

Las reacciones químicas de los agregados contenidos en el concreto pueden afectar su comportamiento. Algunas pueden ser benéficas, pero otras, perjudican al concreto, ya que causan expansión normal, agrietamientos y pérdidas de resistencia.

El ácido Tánico (de origen Orgánico) y sus compuestos derivados de la descomposición de la vegetación puede contaminar a los agregados, si éstos durante su extracción, no sufren un proceso adecuado de limpieza²². La acción de esta materia orgánica afecta el tiempo de fraguado y desarrollo de resistencia en las mezclas de concreto.

La reacción alcali-sílice puede ocasionar expansión y agrietamiento severo en las estructuras y pavimentos de concreto. El fenómeno es complejo y se han propuesto varias teorías para explicar los resultados tanto de campo, como de laboratorio. Para evitarla y cuando no se tienen experiencias previas con este tipo de reacciones, en la elaboración de concreto, puede ser necesario tomar algunas precauciones como:

- Limitar el contenido total de álcalis en el concreto
- Utilizar un cemento con bajo contenido en álcalis
- Cambiar de agregados
- Limitar el grado de saturación de agua del concreto.

²² Especificaciones de los Agregados Según sus Usos. Revista Canteras y Explotaciones, No. 330. Agosto 1994. Pag. 45

El término álcalis se refiere al sodio y al potasio presentes en proporciones relativamente pequeñas, expresadas como óxido de sodio (suma del porcentaje de Na_2O y 0.650 veces el K_2O)²³.

Además se ha demostrado claramente que ciertas rocas carbonatadas participan en reacciones con álcalis que, en algunos casos, producen expansiones perjudiciales y agrietamiento. Las reacciones que afectan al concreto, generalmente se asocian con calizas dolomíticas arcillosas caracterizadas por sus texturas poco usuales. Esta reacción es llamada "Reacción expansiva álcali carbonato".

Se deben realizar pruebas de laboratorio en los agregados para determinar la reactividad alcali-sílice especialmente si hay indicios de que ésta exista. Las pruebas más útiles son las siguientes:

- a. Exámen petrográfico (ASTM C-295)
- b. Pruebas de la barra de mortero para determinar la reactividad potencial (ASTM C-227)
- c. Prueba química para determinar la reactividad potencial (ASTM C-289)

Con relación a los agregados finos se ha encontrado que las arenas con un módulo de finura de (m.f.) de aproximadamente de 3.0, mismas que se consideran arenas gruesas, resultan satisfactorias para producir buenas trabajabilidades y resistencias a la compresión elevadas. Las arenas más finas,

²³ Aditivos para Concreto, Comité ACI-212, Capítulo 6, Pag No. 74

digamos con un m.f. de 2.5 a 2.7, pueden producir mezclas pegajosas de menor resistencia²⁴.

La arena se recomienda que sea de río, ya que la arena procedente de la trituración exige una cantidad de agua mucho mayor para igual trabajabilidad y, limitar al máximo el contenido de agua de la mezcla es primordial en éstos concretos. Por este motivo, y teniendo en cuenta que el contenido de finos en los CGC es muy alto, por la alta dosificación de cemento que llevan y las adiciones minerales, es aconsejable que se trate de una arena no muy fina, y por tanto es recomendable que su módulo de finura sea próximo a 3.

²⁴ Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. Pag 204

2.4.3 ADITIVOS

Los aditivos pueden emplearse para modificar las propiedades del concreto haciéndolo más adecuado para determinado trabajo, por economía, o con otros propósitos tales como el ahorro de energía, desencofrado rápido y otros.

La norma ASTM C-125 y la ACI sp-19²⁵ definen un aditivo como: "Un material diferente del agua, de los 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"²⁶. Otra definición es: son sustancias químicas que añadidas a una mezcla, en estado fresco o durante su elaboración, modifican las características del concreto resultante, mejorando sus propiedades básicas, de tal manera que se adapte mejor a las condiciones de la obra y a las necesidades del constructor.

La Norma ASTM C-494 hace una clasificación de 7 diferentes tipos de aditivos utilizados en las mezclas:

- TIPO A: Reductores de agua
- TIPO B: Retardantes o reguladores de fraguado
- TIPO C: Acelerantes
- TIPO D: Reductores de agua y retardantes
- TIPO E: Reductores de agua y acelerantes
- TIPO F: Reductores de agua de alto rango o superfluidificantes
- TIPO G: Reductores de agua de alto rango y retardantes

²⁵ Publicación Especial-19 del Institute American Concrete.

²⁶ "Aditivos para Concretos", IMCYC, Editorial Limusa, Primera impresión, México, 1991, pag. 19

Para comprender mejor la acción de los aditivos y como mejoran las propiedades físicas del concreto, analizaremos brevemente el uso de los diferentes tipos de aditivos.

- TIPO A: ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA

Son sustancias químicas que provocan una gran dispersión de las partículas de cemento consiguiéndose con un menor contenido de agua, una manejabilidad dada o un incremento importante de la manejabilidad de la mezcla para contenido de agua constante²⁷.

De acuerdo con esto un aditivo reductor de agua se puede usar en un concreto con una de las finalidades siguientes:

- a. Reducir agua: la reducción de agua tiene como objetivos incrementar la resistencia del concreto sin aumentar el contenido de cemento y disminuir la porosidad de la pasta haciendo más impermeable y durable el concreto.
- b. Plastificar: en este caso la cantidad de agua permanece constante, no se obtienen incrementos de resistencia pero la manejabilidad de la mezcla se ve incrementada facilitando la colocación y la compactación del concreto.
- c. Economizar cemento: en este caso se reduce agua y cemento. La manejabilidad se mantiene, así como la resistencia a compresión.

²⁷ "Tecnología del Concreto", Curso Teórico-Práctico Fundamentos del Uso de Aditivos en el Concreto, ASIA-FEPADE, Marzo 1992, Pags. 1 - 5 (Tema Aditivos)

- TIPO B Y D: RETARDANTES Y REDUCTORES DE AGUA RETARDANTES

Los aditivos retardantes se usan con el fin de alargar el tiempo en que el concreto permanece fresco, es decir, para retardar el fraguado inicial del concreto.²⁷

Los retardantes se emplean cuando:

- se esta transportando concreto a largas distancias
- para compensar el efecto acelerante que tiene el clima cálido en el fraguado del concreto
- cuando grandes masas de concreto deban fraguar simultáneamente
- se quiere evitar una junta fria
- cuando la colocación del concreto es lenta

Normalmente las industrias suministran aditivos que además de retardar plastifican cuando es necesario altos requerimientos de manejabilidad de algunas obras en clima cálido o cuando se bombea concreto.

En estos casos se parte de un revenimiento alto, el cual se consigue con la acción plastificante del aditivo, y se completa con el retardador del fraguado.

²⁷ "Tecnología del Concreto", Curso Teórico-Práctico Fundamentos del Uso de Aditivos en el Concreto, ASIA-FEPADE, Marzo 1992, Pags. 1 - 5 (Tema Aditivos)

- TIPO C Y E: ACELERANTES Y REDUCTORES DE AGUA-
ACELERANTES

Los aditivos acelerantes se utilizan en la construcción con el fin de provocar un fraguado y un desarrollo de resistencia más rápidos en el concreto²⁷.

Las razones que obligan a acelerar una mezcla pueden ser:

- Desencofrar más rápidamente (prefabricados)
- dar al servicio una estructura a edades más tempranas
- Fundir el concreto a bajas temperaturas

Una variedad de los acelerantes son los reductores de agua-acelerantes que además de acelerar, reducen el agua (o plastifican), siendo posible entonces aumentar la manejabilidad de la mezcla para una mayor facilidad de colocación o reducir agua para la misma consistencia del concreto sin aditivo, pero beneficiando el concreto en lo que se refiere al incremento de la resistencia final.

- TIPO F: REDUCTORES DE AGUA DE ALTO RANGO O SUPERPLASTIFICANTES

Son aditivos de una categoría superior a la de los reductores de agua normales²⁷. Las razones por las cuales se usan en el concreto son básicamente las mismas de los reductores de agua normales. La diferencia estriba en los efectos en reducción de agua o incrementos de la manejabilidad. La Tabla No. 2.3, Pag. No.44 muestra las diferencias de aditivos reductores de agua.

²⁷ "Tecnología del Concreto", Curso Teórico-Práctico Fundamentos del Uso de Aditivos en el Concreto, ASIA-FEPADE, Marzo 1992, Pags. 1 - 5 (Tema Aditivos)

ADITIVO	REDUCCION DE AGUA	INCREMENTO DE LA MANEJABILIDAD DE REVENIMIENTO	
		MINIMO	MAXIMO
Reductor de agua (Plastificante)	Hasta 15%	7 cms	15 cms
Reductor de agua de alto poder (superplastificante)	Hasta 30%	7 cms	25 cms

TABLA No. 2.3 (Tomado del Curso Teórico-Práctico "Tecnología del Concreto", ASIA-FEPADE, Aditivos en el Concreto, Pag. 3, Marzo 1992).

Es necesario aclarar que las mezclas con reductores de agua de alto rango son exactamente las mismas mezclas superfluidificadas o superplastificadas y en lo que varía es su nombre con que es conocida en los diferentes países del mundo.

- TIPO G: REDUCTORES DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTES

Se utilizan cuando se presentan problemas en climas cálidos al bombear concreto, por la rápida pérdida de manejabilidad de la mezcla, así como los problemas de la colocación de concreto por medio de la tubería por el rápido endurecimiento²⁷. Estos inconvenientes se han solucionado con la aparición de los aditivos reductores de agua de alto rango y retardantes, los cuales alargan notablemente el tiempo de manejabilidad de la mezcla, facilitando el bombeo en climas cálidos o en cualquier clima.

²⁷ "Tecnología del Concreto", Curso Teórico-Práctico Fundamentos del Uso de Aditivos en el Concreto, ASIA-FEPADE, Marzo 1992, Pags. 1 - 5 (Tema Aditivos)

2.4.3.1. SUPERPLASTIFICANTE

SUPERPLASTIFICANTE: es una sustancia química o una combinación de sustancias químicas que, cuando se adiciona al concreto normal; le imparte una trabajabilidad extrema y además, le proporciona una gran reducción de agua, la cual sobrepasa los límites de aquella obtenida por medio de los aditivos fluidificantes normales.²⁸

Por lo tanto, es posible producir mezclas de concreto altamente trabajables con bajas relaciones agua/cemento, logrando así altas resistencias tempranas y tardías²⁹.

Conociendo el papel de los superplastificantes y su forma de actuar, es posible establecer las características básicas de la micro-estructura que elevan la durabilidad del concreto. El papel de estos aditivos es reducir la porosidad y permeabilidad por medio de la disminución del agua y además, son considerados mejoradores tanto de la trabajabilidad como de la durabilidad.

El empleo de los superplastificantes en los CGC es totalmente imprescindible, debido a la tendencia que las partículas de cemento tienen a flocular como consecuencia de la acción de la fuerza electrostática en los granos y elevada tensión superficial del agua que está a su alrededor.

Los superplastificantes son polímeros policondensados de melanina formaldeido-sulfonado o de naftaleno-formaldeido sulfonado, que poseen

²⁸ "Aditivos superfluidificantes para concretos", IMCYC, Editorial Limusa, Primera Edición, México 1990, pag. 16-17.

²⁹ "Estudio de Concreto con Alta Resistencia a la Agresión Provocada por la Contaminación del Medio Ambiente", Parte 1, José Aguilar Coto, Tesis, UES, Julio 1994, Pag. 93.

cadenas de gran longitud y pocas ramificaciones laterales, prácticamente están exentas de impurezas y permiten su uso en dosificaciones relativamente elevadas sin poseer, en general, efectos colaterales indeseables³⁰. Estos polímeros dan mayor cohesión a la pasta sin alterar su fluidez, pudiendo por tanto producirse concretos de muy baja relación agua/cemento y con gran plasticidad, dando lugar también a una micro estructura muy densa con propiedades equivalentes o superiores a las de los agregados empleados en el concreto.

Una de las limitantes colaterales de los superplastificantes es la pérdida de consistencia aproximadamente a los 30-60 minutos de la adición, dependiendo del tipo de superplastificante y de cemento empleado³⁰. Este efecto está asociado con la formación de sulfo-aluminato cálcico hidratado o etringita que precipita incorporando un gran volumen de agua libre.

A fin de eliminar los inconvenientes antes mencionados se recomienda el uso de tipos específicos de superplastificantes de acuerdo a la finalidad perseguida; así debe ser retardador para climas calurosos y transporte a largas distancias, acelerados para climas fríos o para prefabricados, normal para condiciones intermedias.

Los efectos de los superplastificantes en la mezcla de concreto se pueden resumir como sigue:

- Para la misma relación agua/cemento y la misma cantidad de agua en la mezcla, obtienen consistencias más bajas, que pueden ser fluidas si se añade una cantidad suficiente de aditivo.

³⁰ "Composición y Dosificación de los Hormigones de Alta Resistencia", Manuel Fernandez Canovas, Revista Sección-Hormigón No. 709, Agosto 1992, Pag. 980-981.

- Permiten reducir la cantidad de agua de un 20 a 30%, manteniendo la misma consistencia en la mezcla, obteniendo por tanto mezclas con relación agua/cemento menor y por tanto, mayor resistencia.
- Al reducir la permeabilidad del concreto mejoran su durabilidad.

El efecto del superplastificante tiene una duración limitada como ya se dijo, dependiendo de su composición. La pérdida de revenimiento suele producirse muy rápidamente; aunque puede volver a recuperarse añadiendo una nueva cantidad de aditivo a la masa de concreto, no obstante ésto no es recomendable; el addendum a la Norma DIN 1045, no permite repetir las adiciones³¹. La forma de añadir el aditivo a la mezcla influye en su efectividad de disminución de la consistencia y en la duración de su efecto. En general, es mejor repartirlo en dos partes y conseguir una buena homogenización dentro de la masa del concreto.

La dosificación de superplastificante en las aplicaciones de concreto normal no suele superar el 1% en peso de cemento. En los CGC, y dados los valores de relación agua/cemento que se quiere alcanzar, es normal superar este valor y utilizar cantidades entre el 2 y 3% en peso de cemento³².

Concreto Fluido según la Norma ASTM C-1017 es aquel concreto producido cuando un superplastificante se utiliza como un agente para incrementar la trabajabilidad. El concreto posee un revenimiento de 20 cms o más, también se conoce como concreto de alta fluidez o revenimiento colapsado.

31 "Aditivos Superfluidificantes para Concretos", IMCYC, Editorial Limusa, Primera Edición, México 1990, pag. 31

32 "Composición y Dosificación de los Hormigones de Alta Resistencia", Manuel Fernandez Canovas, Revista Sección-Hormigón No. 709, Agosto 1992, Pag. 980-981.

Los superplastificantes se clasifican químicamente en cuatro categorías³³:

CATEGORIA a: Condensados de "Formaldehido Melamina Sulfonatados"

CATEGORIA b: Condensados de "Formaldehido Naftalina Sulfonatados".

CATEGORIA c: "Lignosulfonatados Modificados"

CATEGORIA d: Otros

2.4.3.2 COMPATIBILIDAD ENTRE EL CEMENTO Y EL SUPERPLASTIFICANTE.

Esencialmente, el problema radica en que no todo el cemento Portland que cumple con las Normas aplicables en nuestro medio, tiene el mismo comportamiento Reológico cuando se usa con un cierto superplastificante usando una baja relación agua/cemento. Igualmente, no todo superplastificante que cumple con las Normas requeridas, reacciona de la misma forma con un determinado cemento Portland. Se sabe, que no todos los cementos son compatibles con todos los ingredientes de éstos, en el caso de los CGC el problema de la compatibilidad entre el cemento y el superplastificante es mucho más complejo.

Estudios realizados sobre la interacción entre el cemento y el superplastificante, conducidos en la Universidad de Sherbrooke³⁴, han señalado los factores importantes para su compatibilidad, como son para el superplastificante el largo de la cadena molecular, la posición del grupo sulfonato en la cadena, el tipo del contador del ión y la presencia de sulfatos residuales, que afectan las propiedades de defloculación del cemento.

³³ "Aditivos Superfluidificantes para Concretos", IMCYC, Editorial Limusa, Primera Edición, México 1990, Pag. 17

³⁴ Aitcin, P.C.; and Neville A. "High-Performance Concrete Demystified" Revista: Concrete International, Enero 1993, Pag. 25 -26

Con base a estos factores, podemos postular un cemento ideal para los CGC desde el punto de vista reológico: no muy fino, con un contenido de C_3A muy bajo y con una fase intersticial cuya reactividad sea controlada fácilmente por los iones de sulfatos presentes en el cemento.

Estudios realizados anteriormente³⁴ habían demostrado que los problemas de compatibilidad entre el cemento y los superplastificantes son más serios en los CGC que en los CRN, debido a que, virtualmente todas las normas aplicables para el cemento Portland especifican ensayos del mortero con una relación agua/cemento de cerca de 0.5 y sin aditivo incluidos.

Por otro lado, cuando el reductor es usado y la relación agua/cemento es 0.3 ó menos, la distancia entre las partículas de cemento es menor y el número de iones que penetran a la solución también es más pequeña. Bajo estas condiciones, las cinéticas de la hidratación inicial del cemento son muy diferentes de otras que existen para una relación agua/cemento de 0.5. Por consiguiente, se ha demostrado por medio de la experiencia³⁴, que obedecer las normas existentes para el cemento Portland no es una garantía de que un determinado cemento sea adecuado para usarse en los CGC. Efectivamente, ensayos prescritos por las normas no dan indicación a cerca de cual cemento es más adecuado para usarse en los CGC. En un amplio sentido, la situación es la misma para los superplastificantes.

Las normas que requieren el uso de un cemento de referencia estandarizado o un cemento mezclado, se establecieron cuando la acción del superplastificante sobre el cemento no se comprendía muy bien. Por

³⁴ Aitcin, P.C.; and Neville A. "High-Performance Concrete Demystified" Revista: Concrete International, Enero 1993, Pag. 25 -26

consiguiente, las normas estaban basadas en aquellas para reductores de agua, que también se habían diseñado usando una relación agua/cemento de 0.5.

Por esa situación existente, y esperando el desarrollo de nuevas normas relevantes a las mezclas usadas en el CGC, ¿Cómo se hace para seleccionar el cemento y el superplastificante para los CGC?

Se deben hacer ensayos de laboratorio a base de tanteos de un número de pastas de cemento que contengan combinaciones diferentes de cemento y superplastificante, para establecer la mejor mezcla desde el punto de vista reológico. Ensayos como el mini revenimiento o la fluidez del mortero (ASTM C-24), hacen posible limitar la selección a unos pocos cements compatibles con uno o dos superplastificantes disponibles comercialmente. Para la selección final del cemento y el superplastificante, es necesario llevar a cabo ensayos con una mezcla de prueba, porque sólo estos ensayos dan datos confiables de la pérdida de revenimiento y la ganancia de la resistencia.

2.4.3.3 COMO ACTUAN LOS ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES

Sin excepción, los aditivos superplastificantes poseen una marcada capacidad para dispersarse, sin presentar efectos laterales adversos, las floculaciones de cemento aparecen normalmente cuando el cemento se encuentra en una suspensión de agua³⁵. Su capacidad a este respecto excede a aquella de los fluidificantes compuestos a base de lignosulfonatos no modificados ó de ácido polihidroxicarboxílico.

³⁵ "Aditivos Superfluidificante para Concretos", IMCYC, Editorial Limusa, Primera Edición, México 1990, Pag. 19-31.

Los superplastificantes de las categorías a y b antes mencionadas se distinguen de los demás, en que su sustancia química activa no originan una disminución significativa de la tensión superficial. Probablemente es debido a esta razón que dichos aditivos puedan tolerarse en altos niveles de dosificación sin que exista un volumen excesivo de aire atrapado.

Las mediciones de las temperaturas de los calores de hidratación de las pastas de cemento portland ordinario, realizada con la misma relación agua/cemento y conteniendo superplastificante de las categorías en referencia, han demostrado que la producción total de calor definitivamente no se afecta con la incorporación o colocación del aditivo.

Un concreto normal diseñado para tener un revenimiento inicial de 7.5 cms. Se incrementará a más de 20 cms. si se le adiciona un superplastificante con la dosificación recomendada por el fabricante.

El grado de fluidez del concreto también depende del tipo de agregado, de su forma y de la granulometría en general. Usualmente existe un nivel máximo de dosificación, arriba del cual el concreto se vuelve tan fluido que puede originarse segregación.

El concreto fluido es distinto al concreto convencional en que, no obstante que mantiene su cohesividad, fluye fácilmente y resulta casi capaz de autonivelarse.

2.4.3.4 SUMINISTRO Y DOSIFICACION DE LOS SUPERPLASTIFICANTES

Todos los superplastificantes se proporcionan en forma líquida. Se adicionan directamente a la mezcla de concreto en el momento de usarse, ya sea manualmente o por medio de un alimentador simple accionado por gravedad: el alimentador simple es preferible, pues facilita la colocación pero, lo que es más importante, puede controlarse de manera tal que libere sólo la cantidad de aditivo prescrita³⁵.

Las dosificaciones generalmente se encuentran en el rango de 1 a 6 litros/m³ de concreto. Después de la colocación, la mezcla completa se agita a velocidad máxima por lo menos durante dos minutos (el efecto del superplastificante es ya detectable por el cambio de tono del motor de la mezcladora, así como por el sonido "espeso" de la mezcla). Cuando el concreto está fluido y listo para usarse, debe emplearse sin demora, ya que la trabajabilidad máxima generalmente se obtiene durante sólo 30-60 minutos; dependiendo de las condiciones climáticas y de la compatibilidad del cemento con el superplastificante.

El grado de trabajabilidad retenida depende de alguna manera del tipo de mezcladora y de la velocidad de mezclado.

2.4.3.5 APLICACIONES DE LOS SUPERPLASTIFICANTES.

En aquellos casos en donde se requiera una alta trabajabilidad podrá usarse un concreto superfluidificado sin que se originen efectos adversos o se

³⁵ "Aditivos Superfluidificante para Concretos", IMCYC, Editorial Limusa, Primera Edición, México 1990, Pag. 19-31.

requiera para mejorar las propiedades mecánicas especiales a corta y larga edad del concreto³⁶.

Resulta importante mencionar sus aplicaciones particulares:

1. En las colocaciones de concreto con vibración reducida, en áreas con congestionamiento de acero de refuerzo y en áreas de difícil acceso utilizando concreto fluido puede evitarse la necesidad de cortar o adaptar las cimbras para lograr el acceso del vibrador al área de colocación del concreto.
2. Cuando se requiere la capacidad de colocar concreto rápido y fácilmente y sin vibración en áreas limitadas, losas de piso, cubiertas para techos y otras estructuras similares.
3. Cuando sea necesario lograr un muy rápido bombeo del concreto. Se han logrado colocaciones de 40 m³/hora. Existen reportes de que en Alemania el concreto superplastificante se ha bombeado a alturas de 35 mts. La combinación de la cohesividad y de la facilidad de colocación resulta muy adecuada para el bombeo³⁶.
4. En los casos en que se requiere facilitar la producción de superficies de concreto uniformes y compactas como lo pueden ser: plantas de tratamientos de aguas residuales, presas, superficies de rodamiento, puentes, edificios altos u otras estructuras que requieran estas propiedades.

³⁶ "Aditivos Superfluidificantes para Concretos", IMCYC, Editorial Limusa, Primera Edición, México 1990 Pag. 34-39

2.4.3.6 PROPIEDADES REOLOGICAS DEL CGC

Antes de explicar las propiedades reológicas de los CGC, se definirá primeramente ¿qué es la reología?

Reología es la parte de la mecánica que estudia la deformación, plasticidad, viscosidad y el flujo de la materia; en particular la plasticidad y viscosidad.³⁷

El concreto que se ha fluidificado por medio de la incorporación de un superplastificante se caracteriza por su gran revenimiento y sus altos valores de fluidez. Sin embargo, estas dos pruebas son semi-estáticas y no describen realmente la manera en que una mezcla de concreto fluido se comporta bajo condiciones dinámicas: por ejemplo, aquellas que reflejan los métodos usuales para colocar concreto.³⁸

Las resistencias altas están claramente condicionadas a una consolidación completa del concreto, y esto requiere de propiedades reológicas apropiadas (principalmente manejabilidad) al momento de la consolidación.

Los superplastificantes han dado una manejabilidad muy alta con un contenido de agua muy bajo en la mezcla, pero sólo para un corto período; efectivamente, alcanzar propiedades reológicas satisfactorias por un período suficientemente largo representa la dificultad más grande al producir CGC.

³⁷ "Estudios de Concretos con Alta Resistencia a la Agresión Provocada por la Contaminación del Medio Ambiente", Parte 1, José Aguilar Coto, Tesis UES, Julio 1994, Pag. 23, 127 y 128.

³⁸ "Aditivos Superfluidificantes para Concretos". IMCYC, Editorial Limusa, Primera Edición, México 1990 pag. 52-55

Las investigaciones han demostrado que no siempre es posible producir CGC que sea manejable una hora después de mezclado, usando 135 litros/m³ de agua simplemente escogiendo al azar una combinación de cemento Portland y un superplastificante. La razón de ésto es la interacción entre el cemento y el superplastificante, que es bastante complicado y que puede llevar a una pérdida rápida de revenimiento efectivamente, al seleccionar los materiales para los CGC, son eliminados con más frecuencia los cementos por su comportamiento reológico, que por su incapacidad de alcanzar la resistencia a la compresión requerida.

El problema de la pérdida de trabajabilidad es esencialmente la compatibilidad entre el cemento y el superplastificante.

2.4.3.7 PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO

La inclusión de superplastificante en una mezcla de concreto puede mejorar las propiedades del concreto endurecido, tanto a corto como a largo plazo. Las propiedades importantes se mencionan a continuación³⁸ :

- Alta resistencia
- Propiedades mecánicas especiales a corta y larga edad
- Gran resistencia al impacto y a la abrasión
- Gran estabilidad de volumen
- Gran durabilidad en condiciones y ambientes severos

³⁸ "Aditivos Superfluidificantes para Concretos". IMCYC, Editorial Limusa, Primera Edición, México 1990 pag. 55

2.4.3.7.1 ALTA RESISTENCIA A TEMPRANA EDAD DEL CONCRETO CON REDUCCION DE AGUA.

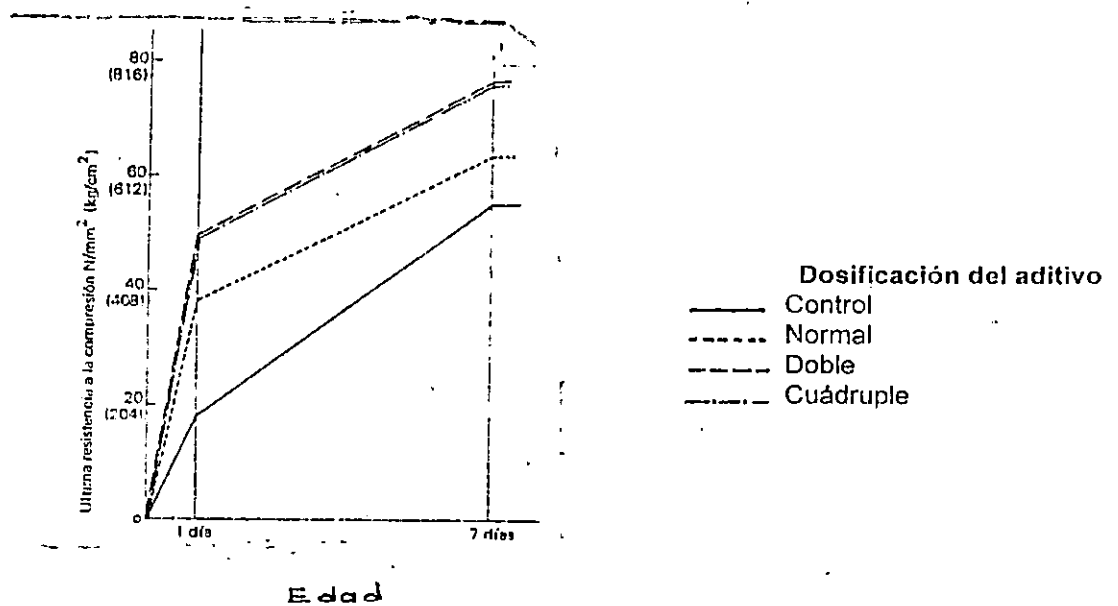
Al aprovechar la capacidad de los superplastificantes para reducir el contenido de agua, es posible lograr un importante resistencia a temprana edad; por ejemplo, a las 24 horas. En la Tabla 2.4 y en la Gráfica 2.2 de la pág. 57 se proporciona la resistencia de especímenes de concreto con un contenido de cemento de 400 kg/m^3 , con varias dosificaciones de aditivo, en este ejemplo se trata de un material de la categoría "a". Los especímenes se desmoldaron un día después y se almacenaron al aire libre³⁹.

TABLA 2.4. Capacidad de resistencia a temprana edad de un concreto con reducción de agua conteniendo un aditivo de la Categoría A*.

Dosificación del aditivo	Relación agua/cemento	Fluidez radial (cm)	Resistencia de los cubos (Kg/cm ²)		Cambios en la resistencia (% sobre el concreto de control)	
			1 día	7 días	1 día	7 días
0	0.42	41.5	184	560	----	----
Normal	0.36	42.0	388	637	+111	+14
Doble	0.33	51.0	506	778	+176	039
Cuádruple	0.32	43.0	501	773	+173	+38

* Tomado de Publicación de Aditivos y Superplastificantes.

³⁹ "Aditivos Superfluidificantes para Concretos". IMCYC, Editorial Limusa, Primera Edición, México 1990. pag. 77-86



Gráfica 2.2. Resistencia a la Compresión después del almacenamiento.

Con una doble dosificación, la relación agua/cemento se redujo de 0.42 (para la mezcla de control) a 0.33. Aún después de esta reducción de agua, la fluidez radial se incrementa y logra una alta resistencia óptima a temprana edad con la doble dosificación: el aumento de la dosificación de este aditivo más allá de dicho nivel no llevó a otro mejoramiento.

La comparación entre la Tabla 2.4. y la Gráfica 2.2., muestra que la resistencia a un día aumentó de 183 a 506 kg/cm². Un aumento del 176%. Aunque las diferencias en la resistencia son menos marcadas a edades más avanzadas.

Nuevamente existen indicaciones de que una dosis excesiva de un superplastificante puede originar una ganancia de la resistencia menor que la

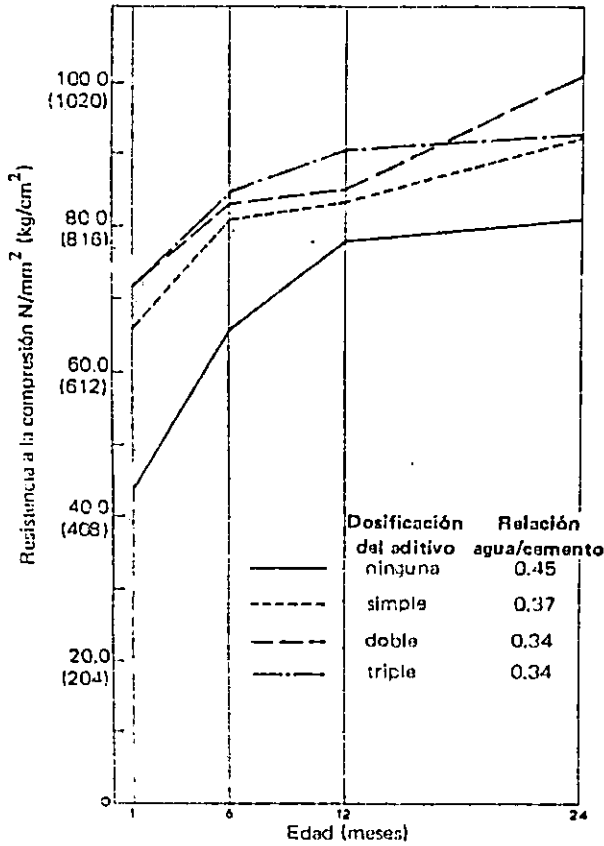
óptima. Por lo tanto, de acuerdo a la información disponible, puede esperarse que, mediante la reducción del contenido de agua del 25 al 35%, se podrá obtener un incremento del 50 al 75% en la resistencia a las 24 horas, bajo condiciones normales.

2.4.3.7.2 PROPIEDADES A LARGO PLAZO DEL CONCRETO CON SUPERPLASTIFICANTE

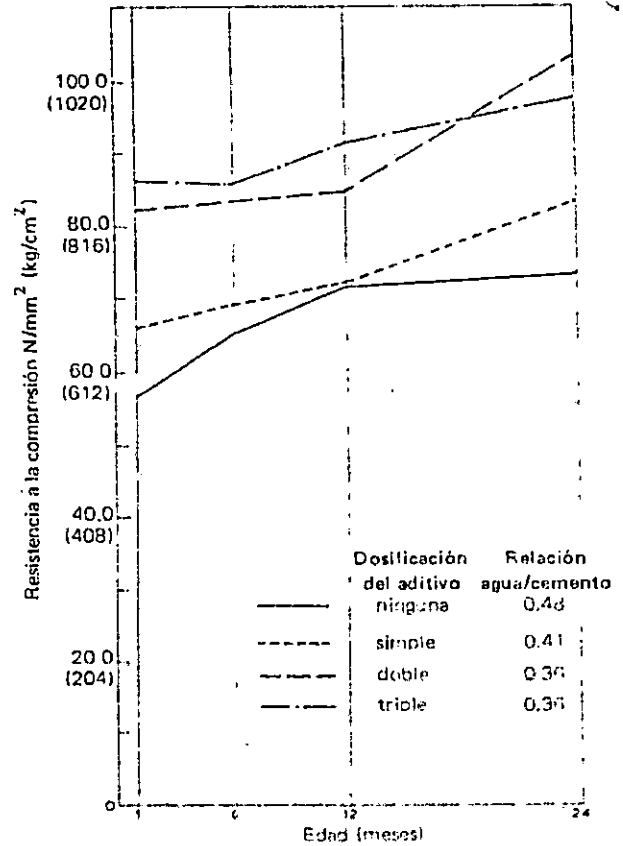
A continuación se presenta la información relativa a la resistencia a la compresión a largo plazo para aditivos de la categoría "a" de Alemania y para un aditivo en particular de la categoría "b" del Japón.

Los conceptos se basaron en un contenido de cemento de 400 Kg/m³. Las siguientes gráficas 2.3 y 2.4 en la pág. 59 muestran el comportamiento del concreto a largo plazo⁴⁰. Utilizando aditivos de la Categoría "a".

40 "Aditivos Superfluidificantes para Concretos". IMCYC, Editorial Limusa, Primera Edición, México 1990. pag. 77-86



GRAFICA 2.3. Pruebas de resistencia a largo plazo utilizando un superfluidificante de la Categoría a. (Tomado de Aditivos Superplastificante para Concreto).



GRAFICA 2.4. Pruebas de resistencia a largo plazo utilizando un superfluidificante de la Categoría a. (Tomado de Aditivos Superplastificante para Concreto).

2.4.3.8 DURABILIDAD DEL CGC

La durabilidad se refiere a la capacidad del concreto para resistir el deterioro proveniente del medio ambiente ó del servicio que reciba.

Cuando un concreto está correctamente formulado y es impermeable, puede razonablemente afirmarse que está protegido de las agresiones químicas y físicas, y que, como consecuencia, es durable. Por lo tanto estos concretos son

resistentes a las agresiones externas de sulfatos, ácidos orgánicos e inorgánicos, hielo-deshielo y abrasión.

El concreto que va a estar expuesto a concentraciones perjudiciales de soluciones que contengan sustancias químicas agresivas como (ácidos o sulfatos), deberán ser diseñados de tal forma que este provisto de los factores que influyen en la capacidad del concreto para resistir la deterioración.

- Factores que aumentan el deterioro:

Temperaturas altas

Velocidades de fluidos incrementadas

Mala compactación del concreto

Curado defectuoso

Humedecimiento y secado cíclico

Corrosión de acero de refuerzo

- Factores que disminuyen el deterioro:

Menor relación agua-cemento

Tipo adecuado de cemento (en algunos casos)

Baja absorción

Baja permeabilidad

Existe poca información a largo plazo de los CGC, pero en Japón se han tenido informes después de 11 años, sobre la resistencia de estos concretos⁴¹. En la Tabla 2.5. de la pág. 61 se muestra alguna información sobre lo antes mencionado.

⁴¹ "Aditivos Superfluidificantes para Concretos". IMCYC, Editorial Limusa, Primera Edición, México 1990. pag. 77-86

TABLA 2.5. Información relativa a la resistencia de un concreto con reducción de agua conteniendo un aditivo de la Categoría B a los 28 días y a los 11 años.*

Localización del corazón*	Aditivo	Revenimiento (cm)	Relación agua/cemento	Contenido de aire (%)	Resistencia a la compresión		Relaciones de resistencias	
					N/mm ²	(Kg/cm ²)	11 años 28 días %	concreto con aditivo concreto simple %
					28 días (prom. de 3)	11 años (prom de 5)		
Muro	Ninguno	21.3	0.61	1.2	325	463	142.3	---
	Superfluidificante	22.1	0.53	1.6	362	559	154.4	120.7
	Basado en lignosulfonato	18.2	0.53	2.5	320	534	167.2	115.6
Piso**	Ninguno	16.1	0.61	1.0	318	419	131.7	---
	Superfluidificante	18.9	0.52	1.2	338	436	128.9	104.1
	Basado en lignosulfonato	17.1	0.52	1.2	353	419	118.8	100

* Los corazones fueron extralados de un edificio de laboratorios en Wakayama, Japón.

** Colado directamente contra un terreno muy seco y arenoso.

2.4.4 ADICIONES MINERALES

Las adiciones en su mayor parte son minerales provenientes de subproductos industriales, considerados residuos y, como indica SWAMY⁴² su empleo en concretos presenta elevados beneficios para la economía, consumo de energía, protección ambiental y conservación de recursos naturales. En

⁴² Revista Técnica Cemento-Hormigón No. 709, Pag. No. 982. "Composición y Dosificación de los Hormigones de Alta Resistencia". Swamy, RN: "Cemento Replacement Materials"

términos técnicos, los beneficios más importantes se presentan en forma de aumento de resistencias, disminución de permeabilidad y, por tanto, aumento de durabilidad. Las adiciones más usadas en el CGC son la microsílica y ceniza volante.

Debido a la finura de éstos materiales puzolánicos se pueden conseguir mejoras importantes en las propiedades reológicas de los concretos, como son la cohesión y la viscosidad. Por la segmentación que las partículas finas producen de los capilares de flujo de agua se reduce la segregación y la exudación, principales fuentes de heterogeneidad en los concretos. Las partículas de las adiciones actúan como puntos de precipitación de los productos de hidratación del cemento, dando lugar a un cierre de poros y concretos más homogéneos. De esta forma se consigue reducir el tamaño de los poros de una forma más eficaz, que la que se conseguiría por la simple reducción de la relación agua/cemento a que dan lugar los superplastificantes. Por esta vía los mecanismos de resistencia de la microestructura quedan reforzados de una forma muy eficaz.

Según las normas SUIZAS, las adiciones son sustancias auxiliares que modifican ciertas características del concreto. Su dosificación es mayor del 5% del peso del cemento y su volumen debe tenerse en cuenta en los cálculos del diseño de la mezcla. Las adiciones no deben tener efectos negativos sobre el endurecimiento o la durabilidad del concreto, ni sobre la protección, anticorrosiva de la armadura.⁴³

En general, las adiciones más ampliamente usadas son el "Filler" (Piedra finamente molida), la cal hidráulica y las puzolanas. Cabe mencionar que la

⁴³ Memorias técnicas, Construcción II, Tomo 3. Reunión del Concreto 1992, Colombia, Pag. 4

Norma ASTM C.494 no contempla los a los aditivos finamente divididos. Estos están contemplados parcialmente en la ASTM C-618-80.⁴⁴

Las puzolanas son materiales básicamente compuestos por Silice-alumina, que reaccionan con la cal libre para formar así un nuevo compuesto resistente al agua y químicamente muy similar a los producidos con el concreto portland. Según su origen las puzolanas pueden ser:

- a. Naturales
- b. Artificiales

a. Puzolanas naturales

Como puzolanas naturales se emplean un gran número de materiales, tales como cenizas volcánicas, las tierras diatomáceas, las pizarras, tobas volcánicas, arcillas y piedra pómez; la mayoría de ellas se deben moler antes de ser usadas y muchas se tienen que calcinar a temperaturas de 650°C, para activar sus componentes arcillosos.

b. Puzolanas artificiales

La presente investigación esta enfocada a el uso de las puzolanas artificiales, entre éstas, las más importantes son:

- b.1. La ceniza volante (Fly Ash), es el aditivo normal más ampliamente utilizado en el concreto, que proviene de plantas de generación de energía térmica con carbón.

⁴⁴ Annual Book of ASTM Standards, parte 14, Philadelphia 1980, Pags. No. 370-373

- b.2. La escoria de alto horno, provienen como un subproducto de la producción del acero.
- b.3. Humo de sílice es un subproducto de la fabricación del siliceo metálico y sus aleaciones.

2.4.4.1 MICROSILICA

El humo de sílice, al que también se conoce como microsíllica o humo de sílice condensado, se forma a partir de la reducción del cuarzo. Este esencialmente consiste en dióxido de sílice (más del 90%) en forma no cristalina (amorfa). Es extremadamente fino, cuyo diámetro promedio es de 0.1 micra, casi 100 veces menor que las partículas promedio de cemento. El humo de sílice condensado tiene un área superficial de aproximadamente 20,000 m²/kg; el cual para tener una idea más clara pueda compararse con el área superficial del humo del tabaco que es aproximadamente de 10,000 m²/kg.

El efecto de la microsíllica particularmente tiene que ver con la densificación de la matriz del concreto y el consumo de buena parte de la cal libre nociva, subproducto de la hidratación del cemento.

El peso específico de la microsíllica por lo general se ubica dentro del rango de 2.10 a 2.25 pero éste puede llegar a 2.55.⁴⁵

De aquí en adelante a la Microsíllica se le denominará M.S.

⁴⁵ Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C. Editorial IMCYC Pag. No. 73

2.4.4.2 ORIGEN DE LA MICROSILICA

La microsilica (M.S.) fue recolectada por primera vez en el año de 1947, este material fue probado en concretos alrededor del año 1950; sin embargo, no estuvo disponible entonces. La demanda próxima para el mejoramiento del impacto del medio ambiente hizo posible la producción industrial durante los años 70s; la tecnología desarrolló filtros para recolectar grandes volúmenes de este material disponible.

La M.S. como ya se mencionó, es un subproducto de la fabricación del siliceo metálico y sus aleaciones (sobre todo los ferrosilíceos). Se forma a través del cuarzo por carbón en hornos de arco eléctrico. Este material que se condensa en partículas microscópicas; fue recuperado inicialmente por razones de medio ambiente. El humo de sílice asciende como vapor oxidado de los hornos a 2,000°C; se enfría, se condensa y se recolecta en enormes bolsas de tela. Entonces se le procesa para retirarle las impurezas y para controlar su tamaño de partícula.

2.4.4.3 MICROSILICA PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS

La microsilica es utilizada para producir mezclas de concreto con altas características de cohesividad, y resistencias químicas y mecánicas. Siendo la M.S. una puzolana, reacciona con la cal libre del cemento para formar así un nuevo compuesto resistente al agua y químicamente muy similar a los producidos con el concreto Portland.

La M.S. es utilizada en concretos de gran comportamiento (CGC) solamente cuando se requiere de propiedades y características especiales de éstos, tanto en estado fresco como endurecido; tales como:

- Mayor cohesividad
- Disminución del sangrado
- Resistencia a la compresión
- Baja permeabilidad
- Densidad, etc.

Estudios profundos sobre la microestructura del CGC que contienen microsilica demostraron una resistencia interna mucho más uniforme y con menor porosidad, tanto en la pasta de cemento misma, como también, en la interfase agregado - pasta.

La microsilica tiene un doble efecto sobre el concreto: produce un refinamiento de su sistema de poros y además tiene una actividad puzolánica muy intensa, reaccionando con el hidróxido cálcico desprendido en las reacciones de hidratación del cemento, para producir silicatos de calcio hidratados. Estas dos características que presenta la M.S. provienen de su composición química (Dióxido de silicio casi puro) y de su extremada finura, que la hace altamente reactiva. Ambos efectos, puzolanidad y refinamiento, dan lugar a un concreto más compacto y por lo tanto, de mayor resistencia.

2.4.4.4 COMPARACION DE LA MICROSILICA CON LAS ADICIONES TRADICIONALES

Las adiciones tradicionales más usadas son las puzolanas; éstas contienen propiedades cementantes y se consideran como adiciones, porque se añaden al concreto en un porcentaje mayor del 5% del peso del cemento; tal como se mencionó en el apartado 2.4.4.

Antes de comparar la microsíllica con las adiciones tradicionales es necesario recordar que las puzolanas artificiales más importantes son:

- a. La ceniza volante (Fly-Ash)
- b. Humo de sílice (microsíllica)
- c. Escoria granulada de alto horno molida

a. CENIZAS VOLANTES (FLY-ASH)

El aditivo mineral más ampliamente utilizado en el concreto, la ceniza volante, es un residuo finamente dividido (polvo que se asemeja al cemento) que resulta de la combustión del carbón mineral pulverizado en las plantas generadoras de electricidad; esta formada por silicatos vitreos que contienen sílice, alumina, hierro y calcio. Otros componentes menores son: el magnesio, azufre, sodio, potasio y carbono.

b. HUMO DE SILICE. Esta adición mineral ya fue explicada anteriormente.

c. ESCORIA GRANULADA DE ALTO HORNO MOLIDA

Es un producto no metálico que consiste principalmente de silicatos y aluminosilicatos de calcio y de otras bases que se desarrollan en la fundición simultánea con el hierro en los altos hornos.

Aunque las escorias molidas no se pueden considerar realmente como puzolanas en el sentido de la definición, porque tienen "poder hidráulico" por si mismas (sin necesidad de la cal) sus características son comparadas normalmente con las de otras puzolanas.

COMPARACION CON LAS ADICIONES

- REQUERIMIENTO DE AGUA

Las mezclas de concreto que contienen cenizas volantes o escorias granuladas de altos hornos, casi siempre requieren menos agua (del 1% al 10%) para determinado revenimiento; sin embargo, existen algunas cenizas volantes y escorias molidas en que sucede lo contrario. Los concretos con microsilica siempre requieren una mayor cantidad de agua o de un reductor de agua⁴⁶, para obtener un revenimiento especificado.

- TRABAJABILIDAD

La ceniza volante y la escoria molida, generalmente, mejoran la trabajabilidad de los concretos de igual resistencia y revenimiento. La microsilica podria reducir la trabajabilidad; por eso normalmente se agregan reductores de agua de alto rango para mejorar la trabajabilidad del concreto con microsilica⁴⁷.

⁴⁶ Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C. Editorial IMCYC Pag. 74 y 75

⁴⁷ Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C. Editorial IMCYC Pag. 74 y 75

- SEGREGACION Y SANGRADO

Los concretos en los que se emplea ceniza volante o microsilica por lo general muestran menor segregación y sangrado que los concretos normales. Por otra parte los concretos donde se utilizan escorias molidas de altos hornos, tienden a presentar sangrados ligeramente mayores que los concretos sin aditivos. Las escorias molidas no tienen efectos adversos en lo referente a la segregación.

- CALOR DE HIDRATACION

El uso de cenizas volantes y de escorias molidas reducen la cantidad de calor que se forma en una estructura de concreto debido a su menor calor de hidratación. La microsilica puede o no reducir el calor de hidratación; sin embargo, éste se eleva con la presencia de aditivos superplastificantes⁴⁸, hasta una cantidad mayor de la que se obtendría con el cemento Portland ordinario.

Se puede afirmar que el concreto con microsilica tiene un calor de hidratación superior al que se obtiene cuando se utiliza como adición cenizas volantes⁴⁹.

2.4.4.5 EFECTO DE LA MICROSILICA SOBRE EL CONCRETO FRESCO.

Los CGC con microsilica requieren de más agua para obtener un revenimiento dado, a menos que se emplee un reductor de agua o un

⁴⁸ Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C. Editorial IMCYC Pag. No. 75

⁴⁹ Revista Cemento-Hormigón No. 709. Composición y Dosificación de los Hormigones de Alta Resistencia. Manuel Fernández Canduas y Pilar Alaejos Gutierrez. Pag. No. 984

superplastificante; aunque si la relación agua/cemento es alta y una cantidad baja de microsilica, las mezclas no experimentan aumentos en la demanda de agua. Esto significa que si la microsilica reduce la trabajabilidad; para mantenerla es necesario agregar reductores de agua de alto rango.

Los CGC en los cuales se les agrega microsilica tienen la cualidad de que muestran menos segregación y sangrado que los concretos con resistencia normal (CRN).

Las dosificaciones de M.S. relativamente altas pueden producir concretos extremadamente cohesivos con muy poca segregación de agregados o sangrado. Al disponerse de poca o nula agua de sangrado en la superficie del concreto para evaporación; se podrían llegar a desarrollar agrietamientos plásticos en los días de colado cálidos y con viento, si no se han tomado precauciones especiales⁵⁰; ésto hace necesario el curado inmediatamente después del acabado de estos tipos de concretos (CGC con M.S.).

Acerca de la trabajabilidad hay que hacer notar que los ensayos habituales de medida de consistencia, como la del cono de Abrams (ASTM C-143) y la prueba de la Esfera de Kelly (ASTM C-360) no representan en forma conveniente la manejabilidad y plasticidad de un concreto de gran comportamiento al cual se le ha adicionado M.S.. Existen otras pruebas tales como: la prueba de Vebe que es aplicable en particular a las mezclas ásperas y extremadamente secas⁵¹. La prueba alemana de la mesa de flujo (DIN 1048); ésta es aplicable a mezclas fluidas como las de los CGC; las normas inglesas "British Standard" (BS) han

⁵⁰ Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto", Editorial IMCYC, pag. No. 76

⁵¹ Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. Editorial IMCYC Pag. No. 182

retomado con ciertas modificaciones la norma alemana antes mencionada. Otra prueba es el uso del medidor "K" de revenimiento, éste es un instrumento de sondeo que se introduce en el concreto en cualquier lugar donde haya un mínimo de 15 cms de concreto alrededor del medidor. Esta prueba aún no ha sido normalizada por la ASTM⁵².

Debido a la elevada cantidad de material cementante, estos tipos de concretos, cuando se utilizan arenas consideradas gruesas, con un modulo de finura (mf) de aproximadamente 3.0 resultan satisfactorias para producir buenas trabajabilidades y altas resistencias a la compresión. Las arenas más finas con mf de 2.5 a 2.7 pueden producir mezclas pegajosas de menor resistencia. (mf=2.77 para arenas del Río Jiboa)⁵³.

2.4.4.6 REOLOGIA DEL CONCRETO CON MICROSILICA

En Europa, Japón, Norte América y en otras partes, la reología del concreto esta atrayendo cada vez la atención. De tal manera que en 1982. en la Introducción al Acta de la Sociedad de Investigación de Materiales sobre la Reología, Jan Skalny⁵⁴ escribió: "como una disciplina, la reología de la pasta de cemento, del mortero y del concreto aún no ha sido completamente desarrollada. Esto es todavía más cierto para los sistemas cementantes que contienen aditivos químicos y minerales..."; como puede observarse la medición de la reología aún esta en proceso de investigación.

⁵² Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. Editorial IMCYC Pag. No. 76

⁵³ Tesis de Graduación, Universidad de El Salvador, 1994, presentada por José Alfredo Aguilar Coto y Oscar Mauricio Armando Reinoso Lozano, pag. No 217

⁵⁴ División de Investigaciones, W.R. Grace & Co. Columbia, Maryland, USA

Las adiciones minerales entre ellas la ceniza volante, escorias granuladas de altos hornos y microsíllica modifican en gran parte las propiedades reológicas del concreto en estudio.

Cuando se agrega M.S. al concreto, ésta modifica las propiedades reológicas (Flujo) de la mezcla. Generalmente la reología del concreto es medida por la prueba del revenimiento (ASTM C 143) tan buena como una observación subjetiva de la habilidad que éste tiene para fluir y consolidarse, sin embargo esta prueba no mide realmente la trabajabilidad de los CGC ya que éstos al aplicarles energía mecánica se vuelven más trabajables. El concreto con M.S. y un reductor de agua de alto alcance es más cohesivo y pegagoso que el concreto convencional.

La finura de la microsíllica hace que se obtengan mejoras importantes en las propiedades reológicas del concreto; tales como la cohesión y la viscosidad.

Si el concreto con M.S. contiene superplastificante, la cohesividad del concreto se reduce, mejorándose el flujo resultante; ya que sí se trabaja con un revenimiento de 5 pulg (127 mm) es típicamente similar en conducta a un concreto convencional de 4 pulg (102 mm). Sin embargo, este tipo de concreto colocado con bomba usualmente requiere menor presión de bombeo.

Debido a su tamaño y forma, las partículas de M.S. lubrican la mezcla del concreto al ser usada en combinación con superplastificante; pero lo más importante es la reducción de la cohesividad permitiendo un concreto plástico bombeado con menor fricción.

La adición de microsilica aumenta la viscosidad del concreto, incrementando de esta manera la demanda de energía en el mezclado y compactación por vibrado.

2.4.4.7 EFECTO DE LA MICROSILICA SOBRE EL CONCRETO ENDURECIDO

La microsilica y otros aditivos minerales finamente divididos, contribuyen a la adquisición de resistencia del concreto. Específicamente la microsilica contribuye al desarrollo de resistencia especialmente entre los 3 y 28 días, tiempo durante el cual un concreto con M.S. rebasa la resistencia de la muestra testigo. Se dispone de poca información acerca de los efectos que la M.S. tiene en la fluencia; sin embargo algunos estudios indican que esta adición puede reducir la fluencia⁵⁵.

Otros estudios realizados en España con CGC han llegado a la conclusión de que estos concretos a 2 días, su resistencia es aproximadamente el 53% de la que se obtiene a los 28 días, independientemente de la cantidad de M.S⁵⁶.

Por otra parte en mezclas sin M.S. a 7 días están a un 85% de la resistencia de 28 días, y con un 15% de M.S. a un 78%. La reacción puzolánica produce un incremento mayor de resistencia de 7 a 28 días. Después de los 28 días, sin embargo, las reacciones químicas en las mezclas sin M.S. son menos activas, posiblemente por existir menos agua disponible para favorecer las reacciones, reduciendo por lo tanto su incremento de resistencia de 28 a 90 días frente a los que no llevan M.S.⁵⁶

⁵⁵ Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Editorial IMCYC Pag. No. 76

⁵⁶ Revista Cemento-Hormigón, No. 738, Dosificación de Hormigones de Alta Resistencia. Dres. Alaejos Gutierrez y Fernández Canovas. Pag. No. 2320

Los valores citados en el párrafo anterior son muy similares a los obtenidos en la Parte I de la presente investigación.

Con la M.S. es posible mejorar la microestructura en la superficie de contacto entre el cemento fraguado y el agregado. Esto da lugar a una superficie de fracturación completamente diferente. En los CGC con M.S. la superficie de falla pasa justamente a través de los agregados, siendo ésta una superficie de falla relativamente tersa, el resultado es un comportamiento frágil del concreto.

Agregando M.S. hasta un 10% del peso del cemento combinado con un superplastificante en un rango del 1 al 2% del mismo, se dejan fabricar CGC con una relación agua/cemento entre 0.4 al 0.45 con una excelente trabajabilidad y resistencias alrededor de 850 kg/cm^2 .⁵⁷

2.4.4.8 MEJORA DE LAS CARACTERISTICAS DEL CONCRETO.

El componente principal de la M.S. es el dióxido de sílice (SiO_2) en forma amorfa; el diámetro promedio de sus partículas es bastante pequeño (aproximadamente 100 veces menor que el del cemento) por lo cual su superficie específica es muy superior a la del cemento y a la de otras adiciones tradicionales. Esta es la causa por lo que la M.S. introducida en los CGC mejora sus características tales como:

⁵⁷ Memorias Técnicas; Materiales, Tomo III, Reunión del Concreto 1992. Colombia, Pag. No. 11

- Resistencia a la compresión
- Permeabilidad
- Durabilidad
- Retracción
- Módulo de elasticidad
- Resistencia a la abrasión

2.4.4.8.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION

La dosificación "Típica" para mezclas de CGC indica que las adiciones de microsilica (M.S.) y de superplastificante puede llevar a alcanzar resistencias del concreto de hasta 1350 kg/cm^2 . Normalmente se usan de 450 a 500 kg de cemento, hasta el 10% de M.S. con relación al peso del cemento, un retardante y superplastificante a base de naftaleno en proporción de 6 a 20 lts/m³; es obvio que en estos casos el grado de hidratación del cemento se ve drásticamente reducido y éste quedaría incompleto sin un adecuado curado con agua.

Se ha demostrado que la resistencia a la compresión de los CGC no depende sólo de la relación A/C, sino también de la densidad de la matriz y de la resistencia de los agregados. En términos básicos, la Resistencia del Concreto es una función de los huecos totales contenidos en el material, siempre que los enlaces de cohesión y adhesión sean suficientemente fuertes.

Con la M.S., los productores de concreto premezclado tienen la capacidad de producir concretos con resistencias de 1400 kg/cm^2 o más, si se hace uso de agregados adecuados y de un aditivo reductor de agua de alto rango.

Siendo las partículas de la M.S. más finas que las del cemento, cuando ésta es utilizada en la fabricación de CGC dan como resultado un concreto más denso con mayor resistencia a la compresión, menor permeabilidad y por ende mayor durabilidad.

Cuando se necesitan resistencias tempranas (como en el caso de elementos pretensados) es apropiado utilizar microsilica en vez de cualquier otra adición, como se verá más adelante.

2.4.4.8.2 PERMEABILIDAD

El concreto usado en estructuras de retención de agua, expuesto a severas condiciones del clima, o expuesto a un medio agresivo, debe ser virtualmente impermeable o hermético al agua. La hermeticidad se refiere a la capacidad del concreto para detener o retener el agua sin filtración visible. La permeabilidad se refiere a la cantidad de migración del agua, a través del concreto cuando el agua esta bajo presión y también a la capacidad del concreto para resistir la penetración de cualquier sustancia; ya sea ésta un líquido, un gas, o un ion de cloruro. La permeabilidad del concreto maduro, de buena calidad, es de alrededor de 1×10^{-10} cm/seg.⁵⁸

Es importante hacer notar que la relación agua/cemento y el curado tienen alta influencia en la permeabilidad del concreto; además de el uso de aditivos y/o adiciones.

⁵⁸ Concreto Impermeable. Concrete Technology-Today, PCA. Pag. No. 19

Cuando un concreto esta correctamente formulado y es impermeable, puede razonablemente afirmarse que esta protegido de las agresiones químicas y físicas y que, como consecuencia es durable. Para ser impermeable un concreto no debe tener fisuras, por lo que es muy importante su curado.

La microsíllica (M.S.) es especialmente efectiva en la reducción de la permeabilidad de los CGC; disminuye grandemente la permeabilidad y la entrada de iones de cloruro y también aumenta significativamente la resistividad eléctrica. En la siguiente figura puede observarse como disminuye la permeabilidad al aumentar el contenido de microsíllica.

La mayoría de los aditivos que reducen la relación agua/cemento disminuyen consecuentemente la permeabilidad. La M.S. reduce la permeabilidad por medio del proceso de hidratación y de reacción puzolánica; ya que es altamente reactiva con las puzolanas.

Los CGC demuestran mejores cualidades en lo que se refiere a la permeabilidad, la penetración de los líquidos se reduce de 1/5 a 1/10 con respecto a los concretos con resistencia normal.⁵⁹

Se puede disponer de varios métodos de prueba para determinar la permeabilidad del concreto a distintas sustancias; ya sea por métodos directos o indirectos. Sin embargo, estos métodos no estan normados. En la ASTM se encuentra en proceso de desarrollo un método standard para la permeabilidad hidráulica del concreto; sin embargo existen varios procedimientos de pruebas rápidas de la permeabilidad al cloruro (AASHTO T277) valora confiable y

⁵⁹ Revista "Construcción y Tecnología" IMCYC, Empleo de Concretos de Alta Resistencia en Europa. Julio 1994, No. 74, Pag. No 18

rápidamente las permeabilidades relativas de una gran variedad de concretos. Como alternativa, pueden usarse procedimientos de pruebas simples basadas en la absorción que prueban el volumen de los vacíos permeables (ASTM C-640); pero el tiempo total de la prueba es mayor y el pronóstico es menor que para la prueba AASHTO.

Por otra parte se puede afirmar que la permeabilidad de los CGC al oxígeno es de 10 a 40 veces inferior que en los CRN; según algunos resultados experimentales.⁶⁰

2.4.4.8.3 DURABILIDAD

Como ya se mencionó en el apartado 2.4.3.9, la durabilidad se refiere a la capacidad del concreto para resistir el deterioro proveniente del medio ambiente o del servicio que reciba. En el presente estudio se refiere a ambientes químico-agresivos; tales como ácidos y sulfatos.

Actualmente se pueden obtener concretos que cumplan satisfactoriamente sus funciones bajo diversas condiciones atmosféricas, a la mayoría de sustancias químicas contenidas en aguas y suelos, y expuestos a muchas otras sustancias químicas. Existen ciertos ambientes químico-agresivos en los que la vida del mejor concreto se acortan, si no se toman medidas para prevenir o reducir su deterioro.

Las sustancias químicas más comunes a las que se ve atacado el concreto son los sulfatos y los ácidos orgánicos e inorgánicos, los cuales pueden ser

⁶⁰ Memorias Técnicas, Materiales, Tomo III. Reunión de Concreto 1992, Colombia, pag. No. 3

reducidos con un concreto denso y una baja relación agua/cemento, obteniéndose así una baja permeabilidad y más durabilidad. En otras palabras cuando un concreto esta correctamente formulado y es impermeable, puede razonablemente afirmarse que esta protegido de las agresiones químicas y físicas y que, como consecuencia es durable. Debido a la reducción de la permeabilidad de los concretos con microsilica, éstos son más resistentes a zonas marinas y en general a ambientes corrosivos.

La microsilica suministra al concreto una excelente resistencia a los sulfatos, mejor que la obtenida con la ceniza volante o por la escoria molida, según algunos estudios; además, proporciona una importante resistencia a los ataques del agua de mar, fundamentalmente porque reducen la cantidad necesaria de elementos reactivos (tales como el calcio) para que se produzcan las reacciones expansivas al estar en contacto con los sulfatos.

La microsilica aporta al concreto una mayor durabilidad en ambientes agresivos (plantas industriales, industrias agrícolas, talleres, etc.); debido a que proporciona mayor resistencia química (a sulfatos, cloruros, etc.), mayor resistencia al desgaste y por ende mejor protección al acero de refuerzo.

Si nos referimos al cemento Portland podemos afirmar que por si sólo, no tiene resistencia al ataque de los ácidos; sin embargo, puede tolerar algunos ácidos débiles, tales como los ácidos orgánicos: oxalico y tartárico (Ver Tabla 2.6, pág. 80).

VELOCIDAD DE ATAQUE A TEMPERATURA AMBIENTE	ACIDOS INORGANICOS	ACIDOS ORGANICOS	SOLUCIONES SALINAS
RAPIDA	CLORHIDRICO FLUORHIDRICO NITRICO SULFURICO	ACETICO FORMICO LACTICO	CLORURO DE ALUMINIO
MODERADA	FOSFORICO	TANICO	NITRATO DE AMONIO SULFATO DE AMONIO SULFATO DE SODIO SULFATO DE MAGNESIO SULFATO DE CALCIO
LENTA	CARBONICO		CLORURO DE AMONIO CLORURO DE MAGNESIO CIANURO DE SODIO
DESPRECIABLE		OXALICO TARTARICO	

Tabla 2.6. Efectos de Sustancias Químicas (Acidos) mas comunes en el concreto (Tomado del Comité ACI-201; durabilidad del concreto).

En la tabla 2.6 se muestra la velocidad de ataque de los ácidos inorgánicos, orgánicos y soluciones salinas al CRN a temperatura ambiente.

Algunos ácidos orgánicos y sales modifican las propiedades del concreto cuando éstos son añadidos a éste; entre éstos se encuentran: el cloruro de aluminio y el ácido láctico que tienen una velocidad de ataque rápido, pueden ser utilizados para producir un fraguado rápido en el concreto. Sin embargo, otros pueden retardar el fraguado, tales como el sulfato de calcio (yeso) entre otros. Este último tiene una velocidad de ataque moderada en el concreto endurecido.⁶¹ Es importante mencionar que los ácidos y sales en referencia pueden ocasionar corrosión en las estructuras.

Según investigaciones realizadas en España sobre adiciones el Artículo 10.2 de la Instrucción Ep-93 (Especificaciones Especiales, año 1993) es concluyente cuando dice: "Se prohíbe el uso de adiciones de cualquier tipo, y en

⁶¹ Comité ACI-212, Aditivos para Concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. 1983. Pag. No. 40

particular las cenizas volantes, como componentes de hormigón pretensado"⁶². Esta prohibición se justifica en base a posibles efectos negativos de las adiciones sobre la durabilidad del concreto, la corrosión de las armaduras, la evolución de la resistencia y la alteración de la fluencia entre otras propiedades; sin embargo, se ha podido verificar experimentalmente que la microsílca no ejerce los efectos antes mencionados con las otras adiciones, al cual nos referimos anteriormente.

2.4.4.8.4 RETRACCION

La retracción por desecación de la pasta de cemento en el concreto endurecido requiere de una reflexión especial al trabajar con cementos con altos grados de finura o bien emplearse microsílca. Al realizar pruebas en los CGC con cemento ultrafino (sin M.S.), Swamy (1986) observó que, debido a una temprana hidratación, del 15-25% de la retracción ocurría en el primer día.⁶³

Por otro lado, Goldam y Bentur (1989), en un CGC con microsílca encontraron que la pérdida de agua era menor, debido a la micro estructura tan fina, pero que para una cantidad fija de pérdida de agua, las deformaciones debidas a la retracción eran mayores que en concreto normal.

Recientemente ha sido propuesto un modelo para la predicción de la retracción (Bezant Et.Al., 1991) para CRN y CGC. Este modelo asume que la retracción disminuye cuando aumenta la resistencia del concreto y la cantidad del agregado, y cuando disminuye la cantidad de agua y cemento. Cuando se utilizan

⁶² Revista "Cemento-Hormigón", El Hormigón de Alta Resistencia en la Instrucción Ep-93, Junio de 1994, No 733 y No 704

⁶³ Revista Cemento-Hormigón, Bases de Calculo para el Proyecto de Estructuras de Hormigón de Alta Resistencia. No. 709, pag. 996

aditivos (químicos y minerales) en el concreto, el modelo debe ser calibrado mediante ensayos, para evitar grandes errores.

Al emplear la mayor cantidad posible de agregado grueso se reduce la retracción; además es muy importante tomar conciencia clara de la necesidad de un buen curado en este tipo de concretos.

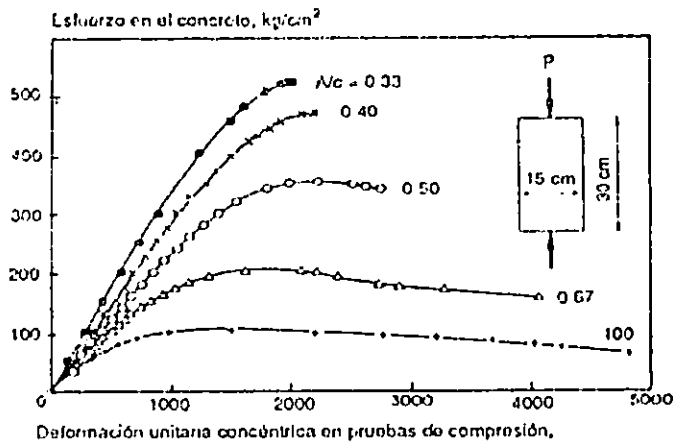
2.4.4.8.5 CALOR DE HIDRATACION

La resistencia del concreto es el resultado de un proceso de hidratación (reacción química que produce liberación de calor al combinarse el cemento con el agua). Si el curado humedo es continuo, los niveles de resistencia posteriores serán mayores.

La microsilica tiene una reacción puzolánica mucho más rápida que la ceniza volante, pero hidrata más lento que el cemento. Aún así la mayor parte de la hidratación de la microsilica ha terminado a los 28 días y no esta acompañada de una generación significativa de calor. Algunos autores han investigado que la microsilica puede o no reducir el calor de hidratación; sin embargo, éste se eleva con la presencia de aditivos superplastificantes hasta una cantidad mayor de la que se obtendría con el cemento Portland ordinario.

2.4.4.8.6 MODULO DE ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad de un concreto (E) es la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria dentro del intervalo elástico de una curva esfuerzo - deformación unitaria. Este valor de "E" puede ser determinado para cualquier concreto en particular conforme a la norma ASTM C-469.



Gráfica 2.5. Curvas Esfuerzo-Deformación Unitaria para pruebas a compresión de cilindros de concreto de 15 x 30 cms a la edad de 28 días (Tomado de Diseño y Control de Mezclas de Concreto).

Como puede verse en la gráfica 2.5 las curvas para el Concreto de Alta Resistencia tienen cúspides agudas; mientras que las curvas para concretos de resistencias menores tienen cúspides largas y relativamente llanas; además los CAR muestran las características de falla súbita de los cilindros de concreto con resistencias superiores; debido a que éstos son muy rígidos y por lo tanto frágiles.

El aumento de las resistencias mecánicas y la disminución de la porosidad conlleva automáticamente a un concreto de mayor rigidez. Este hecho facilita el diseño estructural en cuanto a movimientos laterales se refiere. Sin embargo es un nuevo reto para el ingeniero estructural, para evitar roturas en elementos a

flexión, diseñando la estructura en tal forma, que las vigas, placas, etc., reciban un nivel normal de ductibilidad.

A diferencia de lo que ocurre en los CRN, en los CGC el agregado grueso esta involucrado desde el principio en el comportamiento mecánico del concreto, influyendo decisivamente en sus propiedades elásticas y en el módulo de elasticidad de aquel. Es por ello que los agregados deben proceder de rocas con alto módulo de elasticidad; tales como las de origen basáltico, granito y caliza. El aumento del contenido de agregado grueso en la mezcla, tal como se mencionó en el apartado 2.4.2.1. es necesario, ya que de esta manera también se incrementa el módulo de elasticidad del concreto.

2.4.4.8.7 RESISTENCIA A LA ABRASION

La resistencia del concreto a la abrasión se define como "La habilidad de una superficie para resistir el desgaste producido por fricción o frotamiento".

La resistencia del concreto a la abrasión se ve afectada principalmente por:

- Resistencia a la compresión
- Propiedad de los agregados
- Métodos de acabado
- Uso de cubiertas o recubrimientos
- Curado

En los CGC, la resistencia a la compresión y las propiedades de los agregados son determinantes porque mejoran notablemente la resistencia a la abrasión del concreto, esto es importante ya que siempre existen obras

expuestas a ambientes severos; tales como: pavimentos, pisos industriales, desgaste de presas de concreto, vertederos, tuneles, etc. Otro factor importante para aumentar la resistencia a la abrasión es la disminución del sangrado, el cual se logra más eficazmente con el uso de la microsíllica.

Algunas pruebas y la experiencia en obras han demostrado que, por lo general, la resistencia a la compresión es el factor que individualmente controla en forma más definitiva la resistencia del concreto a la abrasión, ya que ésta aumenta al incrementar la resistencia a la compresión; como se sabe, la resistencia a la compresión y a la abrasión varían de manera inversamente proporcional a la relación entre vacíos (agua+aire)/cemento.

La vida útil de algunos concretos, tales como los empleados en pisos de almacenes, que están sujetos por la abrasión provocada por el tráfico de vehículo con llantas metálicas o de hule duro, puede aumentarse grandemente mediante el uso de agregados especialmente duros y resistentes^{63a}.

Otro factor de gran importancia para obtener concreto resistente a la abrasión y que no desprenda polvo lo constituye un curado adecuado. Algunas investigaciones han demostrado que una superficie curada durante 7 días es casi el doble de resistencia al desgaste que una curada durante 3 días solamente.

Los factores antes mencionados son requisitos que deben cumplir los CGC; ya que la resistencia a la abrasión se ve notablemente mejorada con el uso de la microsíllica al proporcionarle ésta al CGC un sangrado casi nulo.

^{63a} Comité ACI 201 "Durabilidad del Concreto"

2.4.4.9 MANEJO Y COLOCACION DEL CONCRETO CON MICROSILICA

Con relación al manejo y colocación del concreto, es importante señalar que algunos productores consideran preferible adicionar la microsilica antes que los otros componentes de la mezcla; por el contrario, otros, consideran más factible agregarla después.

Sin embargo, indistintamente de la secuencia preferida para la mezcla, se sugiere que el mezclado del concreto se realice con un mínimo de 100 revoluciones a una velocidad de 15 rpm⁶⁴. Si al efectuarse el vaciado del concreto es notoria la falta de uniformidad en el color del mismo o en su consistencia, es síntoma inequívoco de un mezclado deficiente; en tal caso debe pararse la operación de vaciado y volverse a mezclar hasta obtener la uniformidad deseada. El mezclado para microsilica en polvo resulta una operación mucho más exigente que la mezcla con microsilica en solución.

Por la mayor cohesividad del concreto con microsilica, es necesario mayor cuidado en la limpieza de las mezcladoras y herramientas usadas en la colocación del CGC que cuando se trabaja con CRN.

La incorporación de la microsilica, en obra o en concretera, no requiere equipo ni tecnología distinta a las ya conocida para concretos convencionales. No obstante, para su utilización en polvo, se deben preveer algunos cuidados de salud por la extrema finura del producto.

⁶⁴ Memorias Técnicas. Reunión del Concreto 1992. Uso de la Microsilica en el Concreto. Ing. Edgar Oswaldo Prieto

Por la misma característica de cohesividad antes mencionada, para un mismo revenimiento se requerirá mayor esfuerzo para la compactación de un concreto con microsilica que un CRN. Por lo anterior algunos fabricantes de microsilica sugieren trabajar con un revenimiento un poco mayor que la mezcla de referencia. Dicho revenimiento debe lograrse con aditivos y no con mayor cantidad de agua.

2.4.4.10 CURADO DEL CONCRETO QUE CONTIENE MICROSILICA

El curado es de importancia suprema para que un CGC alcance su resistencia potencial. Es preciso suministrar la humedad adecuada así como las condiciones favorables de temperatura durante un período prolongado, particularmente cuando se especifiquen resistencias para el concreto a 56 o a 90 días. Para otra parte, debido a que en los CGC se disminuye notoriamente el sangrado, se debe tener un especial cuidado en la operación de curado por hacerse el concreto muy propenso a un prematuro secado que ocasionaría fisuras y grietas propias del fraguado. Por lo anterior se sugiere una muy cuidadosa operación de curado, ya sea por continuo humedecimiento o por el uso de productos especializados; aunque algunos estudios no aconsejan el uso de compuestos de curado del concreto. El curado mínimo debe ser de tres días⁶⁵; aunque como se indica más adelante, es recomendable mantener el curado por lo menos unos 5 días ó más.

La retracción plástica es propiciada por un inadecuado curado del concreto que contiene M.S.. Se trata del fenómeno de fisuración por retracción que sufre el concreto antes de fraguar, estando aún en estado plástico.

⁶⁵ Revista "Cemento-Hormigón", Composición y Dosificación de los Hormigones de Alta Resistencia, Agosto 1992, No. 709, pag. 984

Básicamente este efecto se debe a la finura de la M.S. que impide una pérdida de agua libre en la mezcla por sangrado, las fisuras se presentan cuando la velocidad de evaporación en el agua superficial del concreto, excede la cantidad de agua que llega a la superficie por sangrado. Estas fisuras suelen ser largas y anchas y se pueden detectar a simple vista, cuando ocurre retracción; normalmente se presenta pocas horas después de la colocación del concreto por lo que se recomienda iniciar el curado a muy temprana edad (primeras horas).

En cualquier caso para concretos con baja relación agua/cemento (menor que 0.40) es evidente que el curado del concreto con agua es el apropiado, ya que así ayuda a completar, hasta cierto punto, la hidratación del material cementante. El curado con agua consiste en la saturación del elemento y la protección de la superficie de una evaporación acelerada con costales de fique (fibra de pita). Se debe mantener el curado por lo menos unos 5 días; en casos extremos (alta temperatura, sol directo, viento fuerte) hay que extenderlo a 8 días como mínimo.⁶⁶

2.4.4.11 CONSIDERACIONES AL USO DEL CONCRETO CON MICROSILICA.

Algunas consideraciones que se deben tener en cuenta al utilizar el concreto con microsilica son las siguientes:

- El concreto con microsilica disminuye notoriamente el sangrado, esto significa un especial cuidado en la operación de curado. Sin embargo, el hecho de disminuir y casi eliminar el sangrado es un beneficio para el concreto por

⁶⁶ Memorias técnicas. Reunión del concreto 1992, Construcción II, Tomo 3, Pag 14

cuanto el agua que migra hacia la superficie en un CRN, arrastra pequeñas partículas de finos que facilitan la segregación.

- Como se mencionó en el apartado 2.4.4.9. Algunos productores de concreto han encontrado preferible alimentar la microsilica antes de los otros componentes de la mezcla; otras por el contrario encuentran más favorable adicionarla después.

- Muchas de las características de la M.S.; de las cuales algunas ya han sido analizadas, la hacen un material ideal en concreto lanzado. La gran cohesividad y pegajosidad que la microsilica le aporta al concreto lanzado, permite reducir de manera importante el rebote y por lo tanto el desperdicio de concreto.

- El color del concreto se verá notoriamente variado por el uso de la microsilica; normalmente éste tenderá a ser muy oscuro y su intensidad variará según la procedencia de la microsilica. Este cambio de color definitivamente no tiene ninguna influencia sobre las características del concreto.

- Añadir microsilica al concreto mejorará sus características, pero aquí como en todos los aditivos, es absolutamente válido que estos últimos son una herramienta para optimizar concreto, pero no corregiran un mal diseño de mezcla o unos malos materiales.

- En cuanto a las dosificaciones del CGC, éste debe cumplir con los objetivos de proporcionar mezclas fácilmente trabajables y resistencias mecánicas y durabilidad compatibles con las condiciones del proyecto. El método

de dosificación debe cumplir el empleo de la mayor cantidad posible de agregado grueso a fin de reducir la retracción y aumentar el módulo de elasticidad, disminuir costos y aumentar las resistencias; por tanto, debe emplearse la menor cantidad posible de pasta a fin de alcanzar los objetivos anteriores.

3

2.4.4.12 SUMINISTRO Y DOSIFICACIONES DE LA MICROSILICA

La microsíllica (M.S.) se suministra en 3 formas básicamente:

- a. Como humo de sílice en polvo, no compactado o densificado para bajar costos de transporte.
- b. Como "Slurry", es decir una solución de M.S. en agua.
- c. Como producto formulado para modificar ciertas características específicas del concreto; es decir una mezcla de microsíllica con aditivos y otras adiciones en forma granular o líquido.

Según el caso y la necesidad es conveniente escoger el producto adecuado. Partiendo de las mismas materias primas, la calidad del Concreto de Gran Comportamiento no depende de la forma de la adición de la M.S. (puede ser en polvo o en líquido no compactado o densificado). La presentación de la M.S. influye únicamente en el proceso de fabricación (dosificaciones, tiempos de mezcla, etc.) para el cual hay que seguir las indicaciones del fabricante.

Actualmente en el mercado nacional existe a la venta un aditivo en polvo de nueva generación, incorpora humo de sílice y superplastificante, con el inconveniente que el fabricante no proporciona los porcentajes en peso de cada uno de los componentes.

Las dosificaciones pueden hacerse por peso o por volumen dependiendo de como sea suministrada al concreto.

Comúnmente estas adiciones se agregan en dosis de 5 a 10% del peso de cemento, consiguiendo incrementos de resistencia que suelen superar el 30% respecto a las mismas mezclas sin microsilica. Sin embargo, pueden alcanzar mayores resistencias con dosis del 15 al 20%⁶⁷.

2.4.4.13 COLOCACIÓN Y MANEJO DEL CGC

En la fabricación de los CGC se debe tener en cuenta:

- Que al poseer las mezclas poca agua pueden existir problemas en su homogenización, en especial para conseguir que el superplastificante se distribuya por igual en la pasta. Se recomienda, por tanto, un mezclado energético y a alta velocidad (velocidad máxima de mezcladora), aunque resulta conveniente realizar ensayos previos de tiempo y velocidad de mezclado.
- El control en obra debe ser muy estrecho; en concreto se debe exigir uniformidad a todos los elementos de la mezcla y controlarse perfectamente su dosificación, especialmente la del agua.

Cuando el CGC sea premezclado se deberán eliminar los retrasos en la entrega y en la colocación y, en ocasiones, deberá ser necesario reducir los tamaños de las mezclas si los procedimientos de colocación son más lentos de lo

⁶⁷ Revista Cemento-Hormigón No. 109. Composición y Dosificación de los Hormigones de Alta Resistencia. Autores antes citados. Pag. No. 983

programado. El contratista deberá estar listo para recibir el concreto y comprender las consecuencias que acarrearía el hecho de rebasar el revenimiento y la relación agua/cemento especificados.

La consolidación es de gran importancia para lograr las resistencias potenciales en los CGC. Después de su colocación en las cimbras, el concreto deberá vibrarse lo más rápido que sea posible. Los vibradores de alta frecuencia deberán ser lo bastante pequeños como para dejar suficiente espacio libre entre la cabeza del vibrador y el acero de refuerzo (para concreto reforzado).

CAPITULO III

PRUEBAS DE LABORATORIO Y DISEÑO DE MEZCLAS

GENERALIDADES

Para el diseño y fabricación de cualquier tipo de concreto en los trabajos de Ingeniería Civil se requiere del conocimiento de la calidad, propiedades y comportamiento de los materiales a ser utilizados; por lo que es de vital importancia la realización de pruebas de laboratorio a los componentes del concreto para verificar los requisitos que éstos deben cumplir. Los requisitos en referencia están contemplados en algunas normas; tales como la ASTM (American Society for Testing and Materials), el ACI (American Concrete Institute), la AASHTO (American Association State Highways and Transportation Officials) que son aplicadas en nuestro país; ya que como se dijo en la "Parte I" de la presente investigación, nuestro país no posee sus propias normas.

En el concreto, tanto fresco como endurecido, la trabajabilidad, resistencia mecánica, durabilidad, etc. son gobernadas en parte por las propiedades y la calidad de los componentes de éste. Si nos referimos a los CGC las exigencias son mayores; sin mencionar que no existen normas específicas por la ASTM; sin embargo, el ACI-363 R-84 plantea el reporte del estado del arte sobre Concreto de Alta Resistencia; en él se da una guía para diseño, selección de materiales, proporción de mezclas, mezclado, curado y consideraciones de diseño estructural entre otros.

En este Capítulo se tratarán las pruebas realizadas a los materiales que componen y que son necesarias para el diseño de mezclas de CGC, como

también el diseño mismo y ensayos del concreto fresco y endurecido; algún tipo de información para la dosificación mezclas, tales como aditivos y adiciones fueron retomadas; la primera se retomó de la Primera Investigación y la segunda fue proporcionada por el fabricante. Las pruebas de resistencia del concreto al ataque de agentes químicos al concreto endurecido se realizará con dos ácidos orgánicos (Láctico y acético) y dos sulfatos (de Magnesio y de Sodio).

3. PRUEBAS DE LABORATORIO.

Con el fin de realizar la dosificación de mezclas, calidad de los materiales, comportamiento del concreto fresco y endurecido, y resistencia del concreto a los ataques químicos se realizaron las siguientes pruebas:

- Impurezas orgánicas del agregado fino (ASTM C-40).
- Análisis granulométrico del agregado grueso y fino y módulo de finura (ASTM C-136, C-33, C-125).
- Gravedad específica y absorción del agregado fino (ASTM C-128).
- Contenido de humedad agregado grueso y fino (ASTM C-566).
- Gravedad específica y absorción del agregado grueso (ASTM C-127)
- Peso unitario del agregado grueso (ASTM C-29).
- Resistencia al desgaste ensaye de máquina de los Angeles (ASTM C-131)
- Prueba de revenimiento (ASTM C-143)
- Prueba para partículas planas y alargadas en agregado grueso
- Método de hechura y curado de especímenes de prueba en laboratorio (ASTM C-192).
- Método estandar de ensayo para resistencia a la compresión de cilindros de concretos (ASTM C-39)
- Prueba de la resistencia al ataque de componentes químicos (no normada).

3.1. PRUEBAS A LOS COMPONENTES

En este apartado se detallan las pruebas realizadas a algunos componentes del concreto, más específicamente a los agregados; además se muestran los resultados en forma de gráficos o tablas.

3.1.1. CEMENTO

Para la elaboración del concreto se utilizó el único cemento existente en el país; el cemento Portland modificado Tipo I (PM), el cual está regulado según la Norma ASTM C-595; es necesario recordar que en nuestro país no existen normas propias o adoptadas oficialmente para el cemento, o para cualquier otro material de construcción; sin embargo, el fabricante (CESSA) garantiza que el producto supera lo establecido por las normas antes mencionadas. (ASTM C-595-87). A este no se le elaboraron pruebas por ser el único disponible en el país, solo se retomó la gravedad específica proporcionada por el fabricante, la cual es: 3.1, por ser necesaria para el diseño de mezclas.

El cemento en referencia posee algunas propiedades tales como: menor calor de hidratación, aminorando riesgos de fisuración, mayor durabilidad ante aguas agresivas, sulfatos, etc., aumenta la impermeabilidad y la elasticidad del cemento a largo plazo, esto es, si se compara con el cemento Portland Tipo I (ASTM C-150). Por otra parte reduce un poco la resistencia a la compresión a edades tempranas, aumentando luego, e igualando al cemento Tipo I (ASTM C-150) a los 28 días⁶⁶; aunque esto no garantiza que este tipo de cemento sea el más adecuado para los CGC.

⁶⁶ Curso Técnico Práctico "Tecnología del Concreto", AISA-FEPADE, Marzo 1992, Tabla No. 2, Pag. No. 3, Fabricación del Cemento en El Salvador.

3.1.2. AGREGADO FINO

El agregado fino utilizado para el diseño de las mezclas de concreto proviene del banco donde está ubicado el plantel de la empresa "Gravas del Pacífico" en el Río Jiboa sobre la carretera CA-2 Comalapa-Zacatecoluca (Ver ubicación en pag. No. 136, 137 de la primera Investigación). Se utilizó esta arena; ya que en la Investigación previa a ésta se determinó que las arenas del Río Jiboa, es una de las más utilizadas en el Área Metropolitana, y además, es la que se comporta mejor en la dosificación de mezclas de CGC; pues tiene un mayor módulo de finura, menor contenido de partículas ligeras (piedra pómez), y mejor granulometría, entre otras características; las cuales se pueden comparar con las arenas del Banco del Río Las Cañas; según resultados obtenidos en la Parte I, (Primera Investigación).

La arena utilizada, tanto para las pruebas de materiales en Laboratorio, como para la dosificación de la mezcla procede de la época de verano; por lo que algunos resultados pueden variar con respecto a la época lluviosa; debido al arrastre de las partículas, por las máximas crecidas del Río.

Para las pruebas del Laboratorio del agregado fino, las muestras fueron representativas, en los casos donde se especifican en las Normas fue cuarteado con una cuarteadora mecánica (ASTM C-702). Las pruebas realizadas al agregado fino fueron las que nos dan un buen parámetro para la obtención de una mezcla de concreto; en resumen éstas fueron las necesarias para un diseño de mezcla: Análisis Granulométrico (ASTM C-136), delimitación de los límites de éste (ASTM C-33), impurezas orgánicas (ASTM C-40), gravedad específica y

absorción agregados finos (ASTM C-128), contenido de humedad (ASTM C-566), todas se refieren al agregado fino.

3.1.2.1. ANALISIS GRANULOMETRICO (ASTM C-136)

El análisis granulométrico es de gran importancia, ya que por medio de él se obtienen mezclas de concreto fresco trabajables y económicas, si éste se encuentra dentro de la especificación ASTM C-33; además muestran la graduación y el módulo de finura de un determinado tipo de agregado fino. El procedimiento del análisis granulométrico está regido por la norma ASTM C-136, el módulo de finura está definido por la ASTM C-125 y los límites de graduación por la ASTM C-33. Esta última define los requisitos de graduación y calidad de los agregados finos y gruesos (excepto agregados ligeros o agregados pesados), empleados en la fabricación del concreto. Cabe mencionar que la composición granulométrica del agregado fino suele identificarse por su módulo de finura.

Para el análisis granulométrico se realizaron 3 pruebas con las arenas del Río Jiboa; las cuales como puede verse cumplen con los límites establecidos con las normas ASTM C-33; éstas son mostradas en la Tabla 3.1, (pags. 99, 100 y 101).

El módulo de finura resultante de las pruebas es de 2.84, ligeramente mayor que el MF de la Parte I, (2.77); el cual favorece la elaboración de los CGC; ya que arenas con un MF de 2.5 a 2.7 pueden producir mezclas pegajosas y de menor resistencia, cuando se utiliza microsilica; además como puede observarse esta dentro del mismo límite definido en la Norma ASTM C-125 (2.2 - 3.1), pero

no tiene la misma importancia; ya que la reología del CRN no es la misma que la de un CGC, por su alto contenido de cementantes.

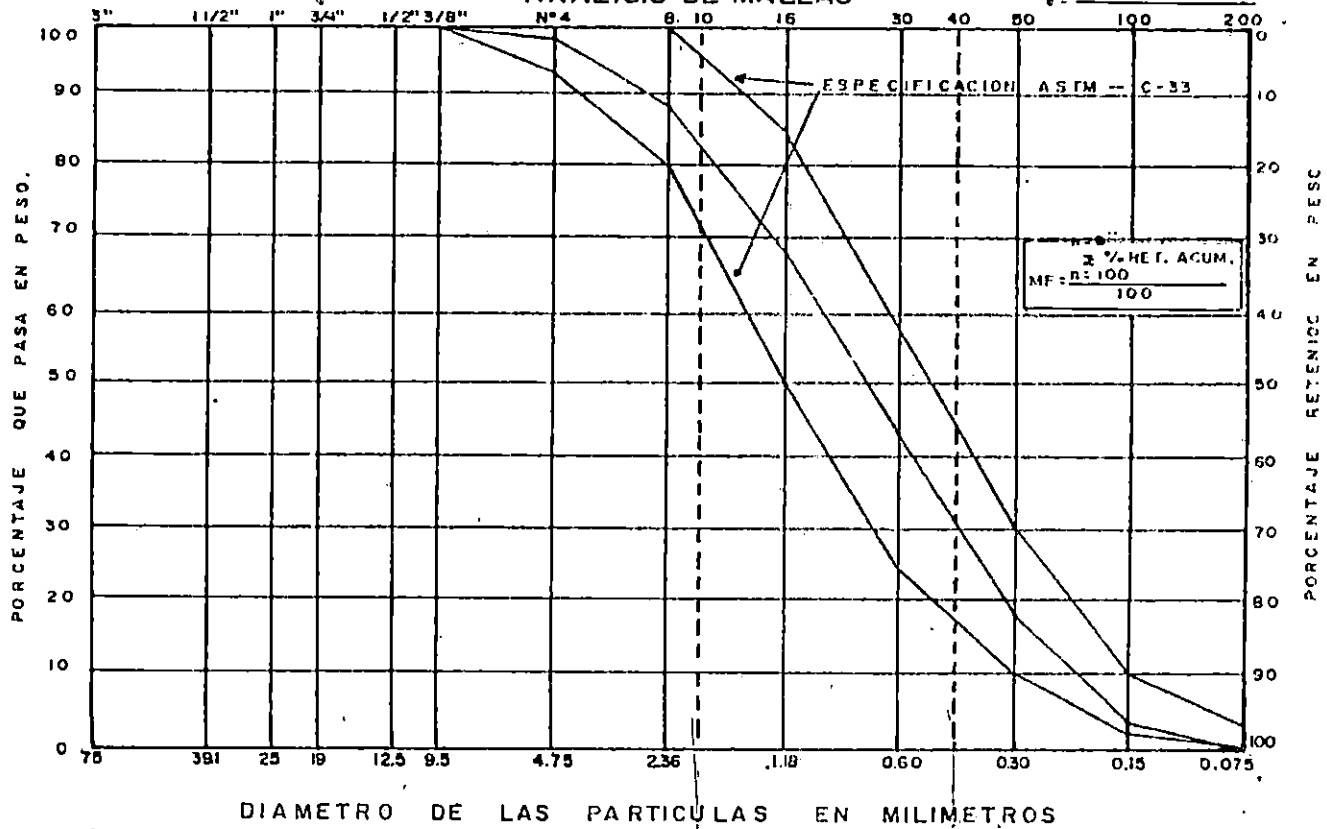
TABLA No. 3.1 (AGREGADO FINO)

GRANULOMETRIA DE ARENA Y GRAVA PARA CONCRETO.

FECHA DE PRUEBA 6/Dic/94 PESO DE MUESTRA 500.0 gr.
 LABORATORISTA MBRV REVISO OOS
 ARENA DE RIO JIBOA

MALLAS U.S. ESTANDARD	DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (m.m)	PESO RETENIDO (gr.)	% PESO RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
3"	75.0				
2 1/2"	63.0				
2"	50.0				
1 1/2"	38.1				
1"	25.0				
3/4"	19.0				
1/2"	12.5				
3/8"	9.5	0.0	0.0	0.0	100.0
N° 4	4.75	7.5	1.5	1.5	98.5
N° 8	2.36	54.0	10.8	12.3	87.7
N° 16	1.18	100.9	20.2	32.5	67.5
N° 30	0.60	120.7	24.1	56.6	43.4
N° 50	0.30	127.0	25.4	82.0	18.0
N° 100	0.15	73.6	14.7	96.7	3.3
N° 200	0.075	16.3	3.3	100.0	0.0
PASA N° 200					
SUMAS		500.0	100%		

ANALISIS DE MALLAS



GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA

2.82 MF

TABLA No. 3.1 (AGREGADO FINO)

GRANULOMETRIA DE ARENA Y GRAVA PARA CONCRETO.

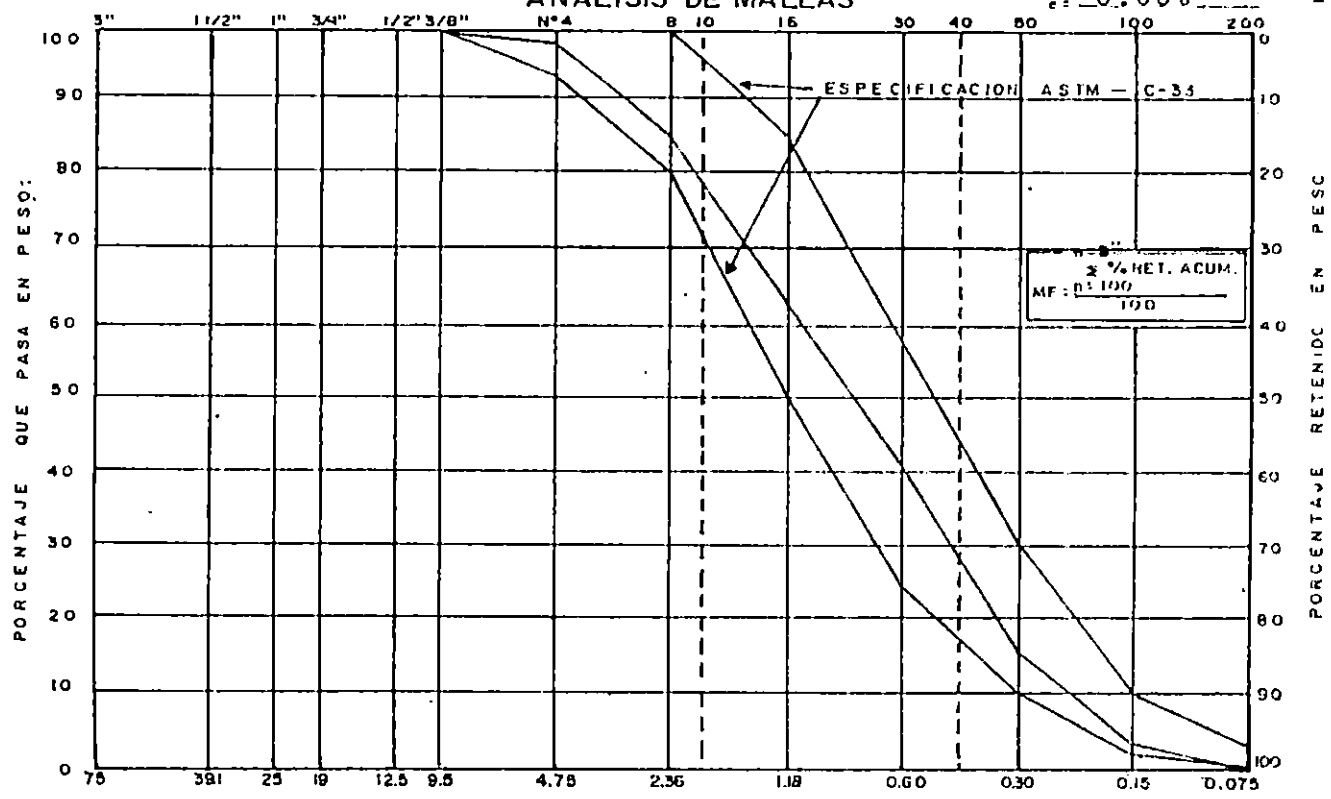
FECHA DE PRUEBA 6/Dic./94 PESO DE MUESTRA 500. gr.
 LABORATORISTA SFAS REVISO OOS
 ARENA DE RIO JIBOA.

MALLAS U.S. ESTANDAR	DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (m.m)	PESO RETENIDO (gr.)	% PESO RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
3"	75.0				
2 1/2"	63.0				
2"	50.0				
1 1/2"	38.1				
1"	25.0				
3/4"	19.0				
1/2"	12.5				
3/8"	9.5	0.0	0.0	0.0	100.0
N° 4	4.75	8.7	1.7	1.7	98.3
N° 8	2.36	65.8	13.2	14.9	85.1
N° 16	1.18	112.7	22.5	37.4	62.6
N° 30	0.60	108.6	21.7	59.1	40.9
N° 50	0.30	128.7	25.8	84.9	15.1
N° 100	0.15	61.7	12.3	97.2	2.8
N° 200	0.075	13.8	2.8	100.0	0.0
PASA N° 200					
SUMAS		500.0	100%		

MF: 2.15

ANALISIS DE MALLAS

e = 0.06%



PORCENTAJE RETENIDO EN PESO

DIAMETRO DE LAS PARTICULAS EN MILIMETROS

GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA

TABLA 3.1 (AGREGADO FINO)

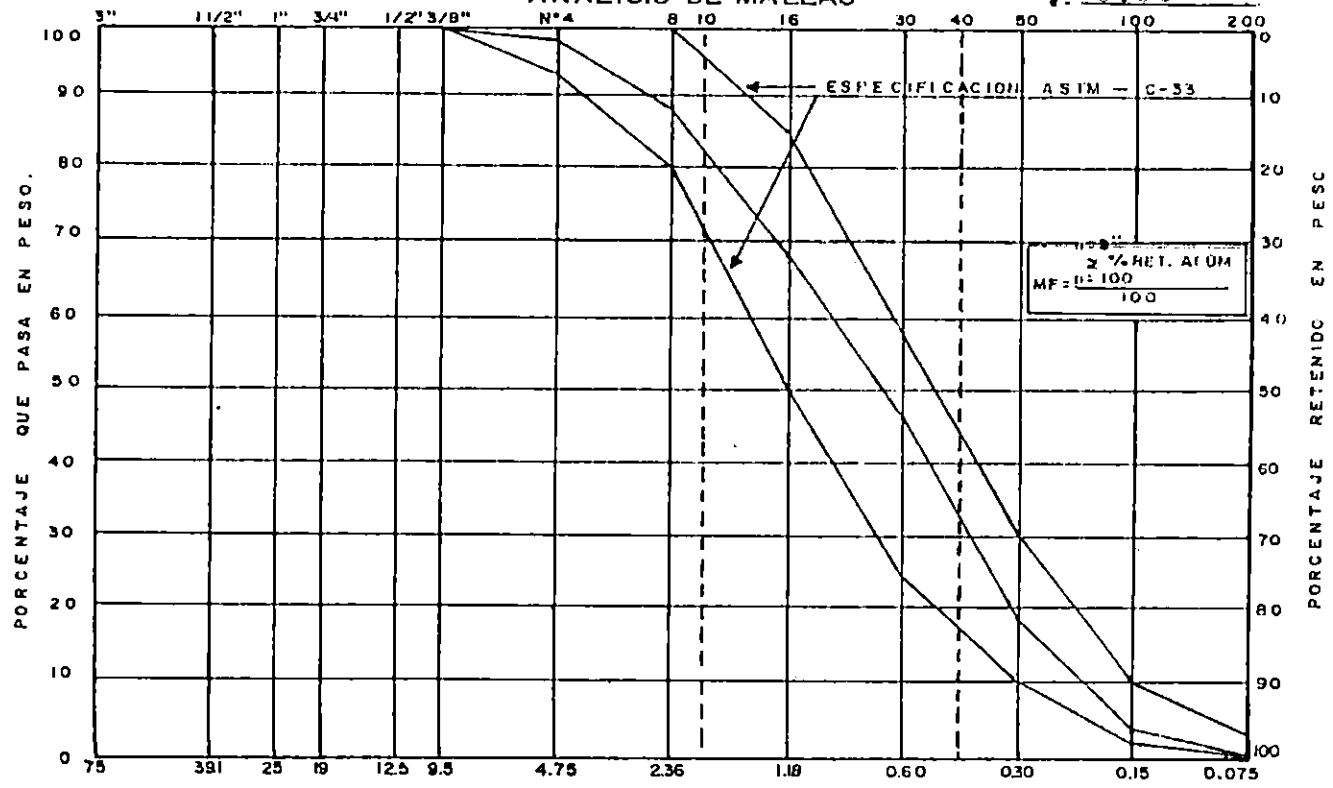
GRANULOMETRIA DE ARENA Y GRAVA PARA CONCRETO.
 FECHA DE PRUEBA 6/Dic./94 PESO DE MUESTRA 500 gr.
 LABORATORISTA MBRV. REVISO SFAS.
 ARENA DE RIO JIBOA.

MALLAS U.S. ESTANDARDO	DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (m.m)	PESO RETENIDO (gr.)	% PESO RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
3"	75.0				
2 1/2"	63.0				
2"	50.0				
1 1/2"	38.1				
1"	25.0				
3/4"	19.0				
1/2"	12.5				
3/8"	9.5	0.0	0.0	0.0	100.0
N° 4	4.75	7.6	1.5	1.5	98.5
N° 8	2.36	50.4	10.1	11.6	88.4
N° 16	1.18	100.0	20.0	31.6	68.4
N° 30	0.60	110.0	22.0	53.6	46.4
N° 50	0.30	138.5	27.7	81.3	18.7
N° 100	0.15	76.2	15.2	96.5	3.5
N° 200	0.075	17.3	3.5	100.0	0.0
PASA N° 200					
SUMAS		500.0	100%		

MF: 2.76

ANALISIS DE MALLAS

ε = 0.0%



DIAMETRO DE LAS PARTICULAS EN MILIMETROS

GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA

3.1.2.2. IMPUREZAS ORGANICAS EN ARENAS PARA CONCRETO (ASTM C-40)

Esta prueba sirve para determinar en forma aproximada la presencia de compuestos orgánicos perjudiciales en agregados finos que serán usados en morteros de cemento o en concretos; ésta se realiza en forma preliminar para la aceptación del agregado fino; por lo que debe realizarse antes que cualquier otra prueba. La prueba en referencia no necesita de valores numéricos, la determinación de precisión y error no es necesaria; ya que como se mencionó, es una forma aproximada para determinar la presencia de compuestos orgánicos en el agregado fino.

Para la determinación de las impurezas orgánicas se realizaron 3 pruebas, colocando una muestra de arena de 130 ml en una botella transparente en una solución de 3% de Hidróxido de Sodio en agua (NaOH) durante 24 horas según lo específica la norma. Después de las 24 horas, se comparó el color de la solución de las muestras con la Tabla de colores de referencia (procedimiento alternativo), las arenas presentaron en los 3 casos un color más claro que el color No. 1, el cual indica que la arena es satisfactoria para la elaboración de mezclas de concreto; tal como lo indica la Norma.

3.1.2.3 GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION (ASTM C-128)

En esta prueba, como en las anteriores, el fin es la elaboración de mezclas de concreto; por lo tanto se utilizó la arena en estado natural; la cual fue llevada después de 24 horas de inmersión en agua a la condición saturada superficialmente seca (SSS) que es cuando las partículas contienen toda el agua

de absorción según el procedimiento establecido en la norma ASTM C-70, utilizando el método del picnométero con una muestra de 500 grs de agregado fino.

TABLA 3.2

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN (ASTM C-128)

Muestra : Arena Río Jiboa
 Procedencia : Gravas del Pacífico
 Fecha : 14/Dic./94

GRAVEDAD ESPECÍFICA (G_E)

PESO PICNOM. (gr)	PESO PICNOM. + AGUA (A) (gr)	PESO MUESTRA SSS (B) (gr)	PESO PICNOM. +AGUA +ARENA (C) (gr)	GRAVEDAD ESPECÍFICA $G_E=B/(A+B-C)$
427.80	1,482.20	500	1,787.90	2.57
427.80	1,482.20	500	1,785.40	2.54
427.80	1,482.20	500	1,795.00	2.67
PROMEDIO				2.59

Observaciones: Se utilizó el mismo picnoméetro para las 3 pruebas.

ABSORCIÓN (%)

MUESTRA No.	PESO SSS (gr)	PESO SECO (gr)	$\% \text{ ABSORC} = \frac{P_{SSS} - P_S}{P_S} \times 100$
1	313.20	303.62	3.16
2	206.70	198.86	3.94
3	228.53	221.05	3.38
PROMEDIO			3.49

Observaciones: Los pesos ya fueron destarados

LABORATORISTA: **S. F. A. S.**

REVISO: **O. O. S.**

La forma para calcular la gravedad específica (G_E) y el porcentaje de absorción; así como los resultados son mostrados en la Tabla No. 3.2, página No. 105, los cuales como puede observarse son similares a los obtenidos en la Parte I, de esta Investigación.

3.1.2.4. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM C-566)

El Contenido de humedad del agregado fino, además de la Norma ASTM C-566 puede ser determinado por otros métodos; sin embargo, en la presente investigación al igual que en la primera, el método utilizado es el descrito por la Norma ASTM C-566 por ser lo suficientemente exacto para los propósitos usuales. El contenido total de humedad se calculó como sigue:

$$\% \text{ Humedad} = (B - A)/A * 100$$

Donde:

A = peso de la muestra secada al horno a 105 °C durante 24 horas

B = peso de la muestra del agregado en condición a utilizar.

Este contenido de humedad es utilizado para las correcciones de la dosificación de mezclas, por lo tanto, debe realizarse con frecuencia, si es posible a diario; ya que el contenido de humedad es muy variable. En el presente estudio se obtuvieron varios valores de contenido de humedad. Uno de tantos valores se muestra en la Tabla No. 3.3 de la página No. 107 de las arenas utilizadas.

TABLA 3.3

PRUEBA PARA CONTENIDO DE HUMEDAD TOTAL POR SECADO (ASTM C-566)

Muestra : Arena Río Jiboa
 Procedencia : Gravas del Pacífico
 Fecha : 5/Abril/95

PESO NAT + TARA (gr)	PESO SECO + TARA (gr)	TARA (gr)	% HUMEDAD
605.80	589.50	105.80	3.37
602.10	585.10	102.10	3.52
605.80	590.20	105.80	3.22
		% HUMEDAD	3.37

Observaciones:

3.1.3. AGREGADO GRUESO

El agregado grueso utilizado proviene del banco denominado "La Cascada" ubicado en el Río San Antonio en el Km 57+500 Carretera CA-2, Comalapa-La Libertad, a 4 kms aproximadamente del Puerto de La Libertad (Ver ubicación en Pag. No. 139 de la Primera Investigación). Se utilizó este agregado debido a que uno de los alcances del presente trabajo es la elaboración de CGC a nivel experimental con los agregados nacionales que se arrojaron mejores resultados en la Investigación anterior.

En el agregado grueso según el apartado 2.4.2.1.⁶⁷ para Concretos de Gran Comportamiento debe de considerarse un porcentaje mayor que para los CRN; debido a ésto, en el presente trabajo se consideró 0.66 m^3 de agregado grueso varillado en seco (en vez de 0.62) para la dosificación de mezclas, sin utilizar el valor del módulo de finura de la arena para el diseño de la mezcla como sugiere el Comité ACI-211.1 para los CRN; los cuales han sido determinados empíricamente.

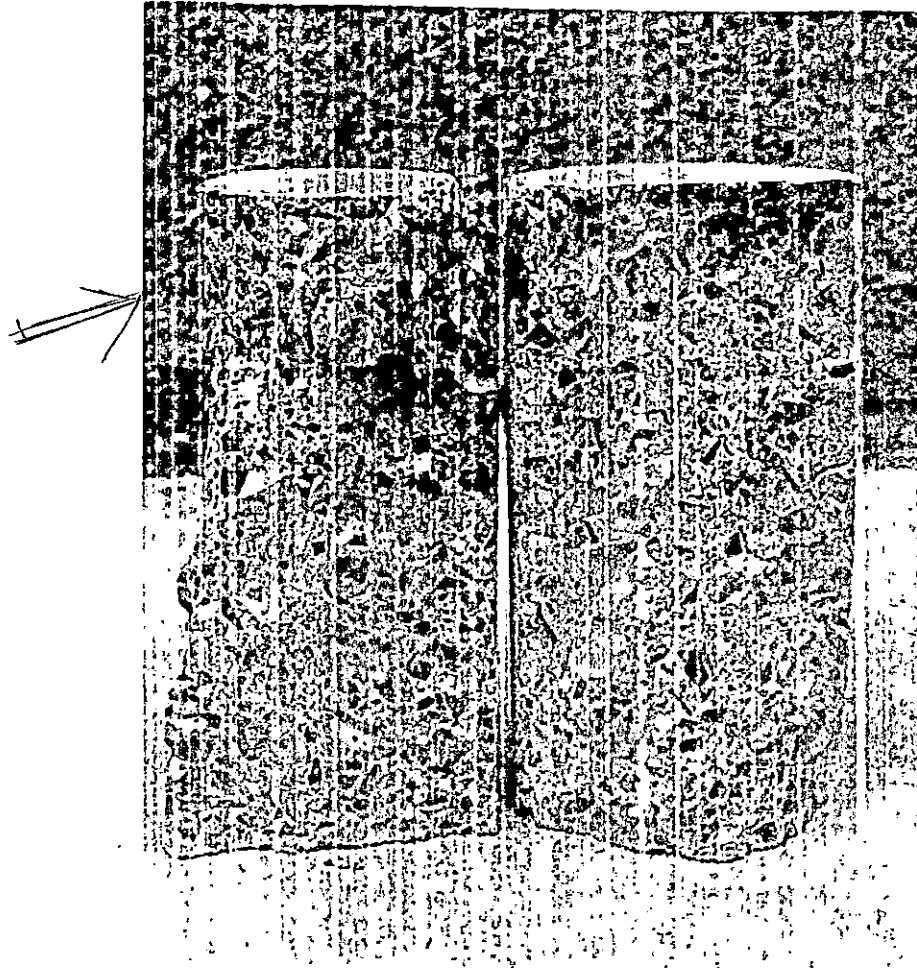


FIG. 3.1. La fotografía muestra la Distribución del Agregado Grueso y falla por Adherencia en la Interfase Pasta-Agregado

⁶⁷ Ver Pag. No. 30 de este Documento, Capítulo II

Es necesario mencionar que con el objetivo de obtener mejores resistencias (ver apartado 2.4.2.1.) se tamizó el agregado grueso, de tal manera que el tamaño máximo de éste fuera de 19 mm (3/4"); además, al igual que en la Parte I de esta investigación, éste fuera lavado para lograr una mejor adherencia en la interfase como se ve en la FIG. 3.1.

3.1.3.1. ANALISIS GRANULOMETRICO (ASTM C-136)

Para el análisis granulométrico del agregado grueso se realizaron 3 pruebas según la Norma (ASTM C-136). Los resultados se muestran en las Tablas Nos. 3.4., páginas Nos. 111, 112 y 113

Los límites establecidos de la Norma ASTM C-33 fueron determinados en base al tamaño máximo del agregado ($TMA \leq 19$ mm); las tablas muestran las gráficas que como puede observarse el agregado grueso no cumple con las especificaciones ASTM C-33; ya que contiene bastantes partículas de mayor tamaño, esto se debió a que el agregado grueso como se mencionó en el apartado 3.1.3. fue tamizado; sin embargo, éste no fué corregido; debido a que era necesario probar la dosificación de mezclas con un agregado máximo de 19 mm (3/4"), tal como se encuentra la granulometría en la trituradora para ser utilizada en la dosificación de mezclas. Por otra parte en el capítulo anterior se recomienda probar con agregados gruesos de 3/4", 1/2" y 3/8" como tamaño máximo óptimo para obtener mayores resistencias en el concreto endurecido.

3.1.3.2. GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION (ASTM C-127)

La gravedad específica y la absorción del agregado grueso fueron determinadas por medio de la Norma ASTM C-127, en base del agregado saturado superficialmente seco utilizando el método de la canastilla (cesto). La cantidad tomada finalmente, después de ser cuarteada y saturada fue de 3 Kg.; el cual corresponde según la Norma a un tamaño máximo de 19 mm (3/4"). Esta prueba al igual que las anteriores es muy importante para la dosificación de mezclas. Los resultados se muestran en la Tabla No. 3.5, página No. 114.

TABLA 3.4 (AGREGADO GRUESO)

GRANULOMETRIA DE ARENA Y GRAVA PARA CONCRETO

FECHA DE PRUEBA 24/Ene/95

PESO DE MUESTRA 8000. gr.

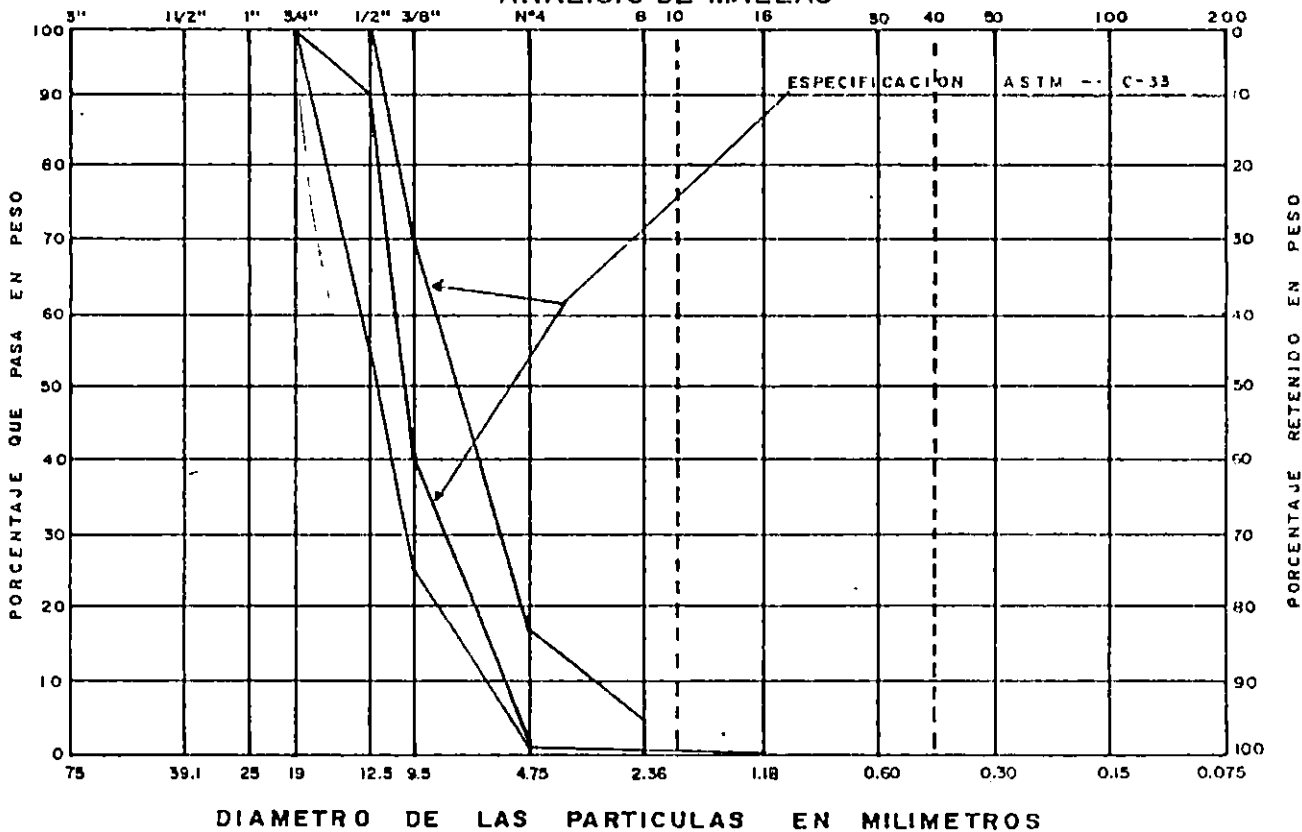
LABORATORISTA MBRV

REVISO OOS

GRAVA DE PEDRERA LA CASCADA.

MALLAS U.S. ESTANDARDO	DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (m.m.)	PESO RETENIDO (g.r.)	% PESO RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
3"	75.0				
2 1/2"	63.0				
2"	50.0				
1 1/2"	38.1				
1"	25.0				
3/4"	19.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1/2"	12.5	3,634.5	45.4	45.4	54.6
3/8"	9.5	2,392.0	29.9	75.3	24.7
N° 4	4.75	1,928.5	24.1	99.4	0.6
N° 8	2.36	27.0	0.4	99.80	0.2
N° 16	1.18	18.0	0.2	100.0	0.0
N° 30	0.60				
N° 50	0.30				
N° 100	0.15				
N° 200	0.075				
N° 200					
SUMAS		8000.0	100.0		

ANALISIS DE MALLAS



GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA

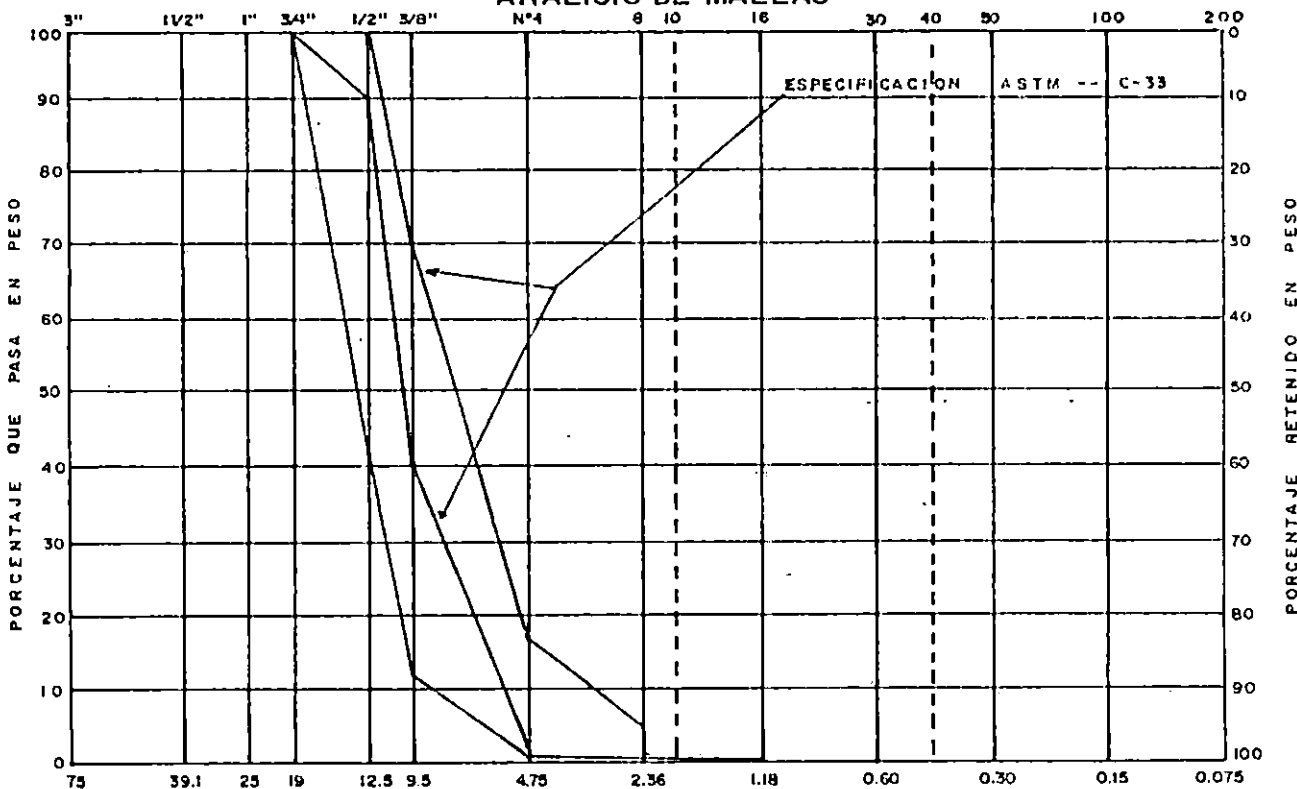
TABLA No. 3.4 (AGREGADO GRUESO)

GRANULOMETRIA DE ARENA Y GRAVA PARA CONCRETO

FECHA DE PRUEBA 24/Ene/95 PESO DE MUESTRA 8000. gr.
 LABORATORISTA SEAS REVISO OOS
 GRAVA DE PEDRERA LA CASCADA

MALLAS U.S. STANDARD	DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (m.m)	PESO RETENIDO (g.r)	% PESO RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
3"	75.0				
2 1/2"	63.0				
2"	50.0				
1 1/2"	38.1				
1"	25.0				
3/4"	19.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1/2"	12.5	4,728.0	59.10	59.10	40.9
3/8"	9.5	2,308.0	28.85	87.95	12.05
N° 4	4.75	959.5	11.99	99.94	0.06
N° 8	2.36	2.4	0.03	99.97	0.03
N° 16	1.18	2.1	0.03	100.00	0.00
N° 30	0.60				
N° 50	0.30				
N° 100	0.15				
N° 200	0.075				
SUMAS		8000.00	100%		

ANALISIS DE MALLAS



DIAMETRO DE LAS PARTICULAS EN MILIMETROS

GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA

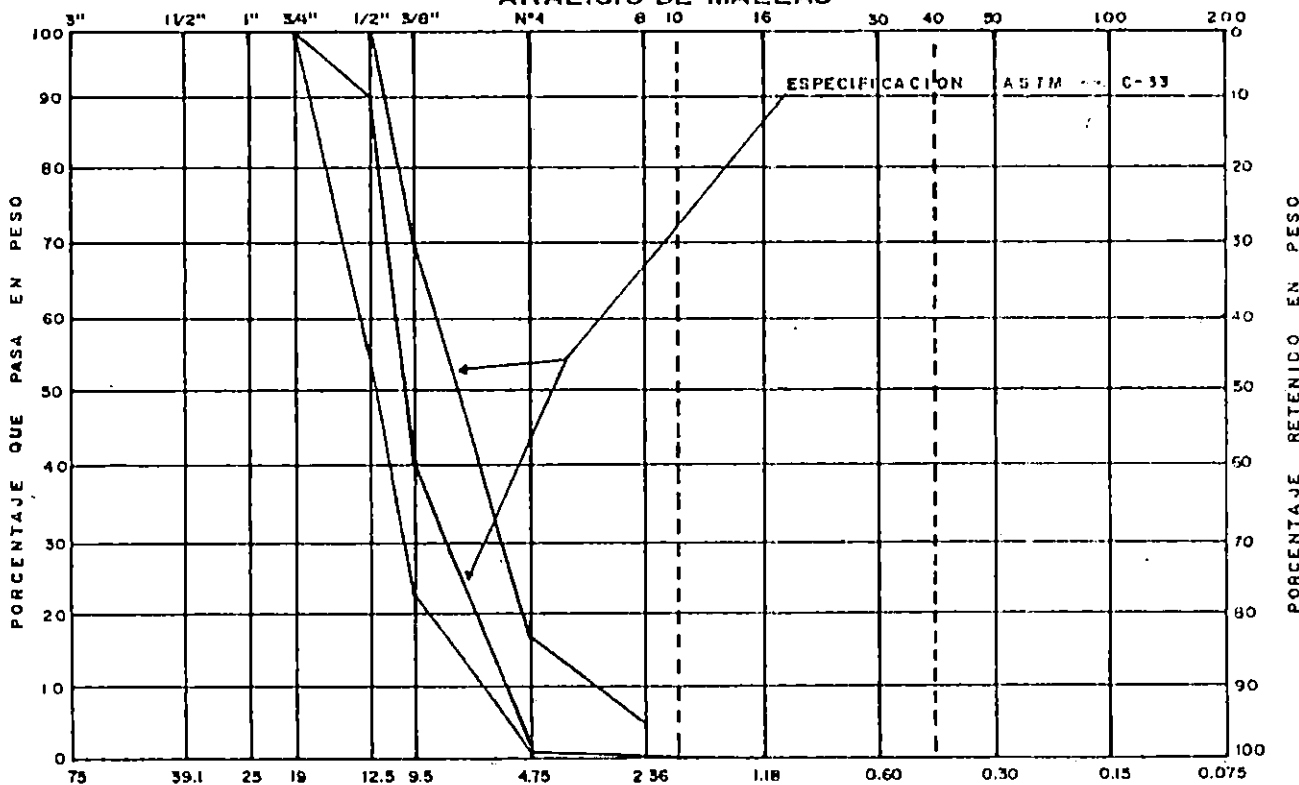
TABLA No. 3.4 (AGREGADO GRUESO)

GRANULOMETRIA DE ARENA Y GRAVA PARA CONCRETO

FECHA DE PRUEBA 24/ENE/95. PESO DE MUESTRA 8000. gr.
 LABORATORISTA SFAS REVISO OOS
 GRAVA DE PEDRERA LA CASCADA.

MALLAS U.S. ESTANDARD	DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (m.m)	PESO RETENIDO (g.r)	% PESO RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
3"	75.0				
2 1/2"	63.0				
2"	50.0				
1 1/2"	38.1				
1"	25.0				
3/4"	19.0	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.5	3,600.7	45.0	45.0	55.0
3/8"	9.5	2,540.2	31.8	76.8	23.2
N° 4	4.75	1,784.2	22.3	99.1	0.9
N° 8	2.36	52.2	0.6	99.7	0.3
N° 16	1.18	22.4	0.3	100.00	0.0
N° 30	0.60				
N° 50	0.30				
N° 100	0.15				
N° 200	0.075				
N° 200					
SUMAS		8000.00	100%		

ANALISIS DE MALLAS



DIAMETRO DE LAS PARTICULAS EN MILIMETROS

GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA

TABLA No. 3.5

PRUEBA DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO
GRUESO SEGÚN NORMA ASTM C-127

Material : Grava No. 1

Procedencia : Pedreira La Cascada, Río San Antonio

Fecha : 7/Febrero/95

PRUEBA No.	P _{SSS} (B) (gr)	P _{SUMERG.} (C) (gr)	P _{SECO} (A) (gr)	G _E (SSS) B/(B - C)	% ABSORCION (B-A)/A*100
1	3,000.0	1,854.6	2,956.0	2.169	1.488
2	3,000.0	1,841.3	2,951.2	2.589	1.655
3	3,000.0	1,845.3	2,945.0	2.598	1.868
			PROMEDIO	2.602	1.670

Observaciones: Los pesos de los agregados ya fueron destarados.

LABORATORISTA: O. O. S.

REVISOR: S. F. A. S.

3.1.3.3. PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS (ASTM C-29)

El peso volumétrico no es más que la relación entre el peso de un material y el volumen ocupado por él mismo, expresado en Kgs por metro cúbico; llamado peso unitario. En el agregado grueso dependiendo del método de acomodamiento que se le haya dado a éste, se le denomina Peso Volumétrico Suelto (PVS) o Peso Volumétrico Compactado o Varillado (PVV ó PVC). Este último es utilizado para la dosificación de mezclas de concreto (Ver Comité ACI-211); por otra parte si se conoce el PVV y el peso específico de un agregado, se puede obtener fácilmente el porcentaje de vacíos, éste permite estimar la cantidad de mortero que se debe emplear con un determinado agregado grueso, si se desea.

El peso volumétrico compactado o varillado está dado por:

$$PVC = \frac{\text{Peso Volumétrico Varillado}}{\text{Volumen del Recipiente}}$$

La prueba de peso unitario fue realizada para Peso Volumétrico Varillado. Los resultados son mostrados en la Tabla No. 3.6, página No. 116. Como puede observarse los resultados son menores que el estudio realizado anteriormente; debido a que la granulometría no está bien graduada, y al ser tamizada no cumplió con la especificación ASTM C-33.

TABLA 3.6

PRUEBA DE PESO VOLUMÉTRICO DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS
SEGÚN NORMA ASTM C-29

Material : Grava No. 1
 Procedencia : Pedreira La Cascada, Río San Antonio
 Fecha : 27/Enero/95

PRUEBA No.	PESO VOLUMETRICICO VARILLADO		
	1	2	3
W muestra+recipiente (gr)	20,485.0	20,425.0	20,500.0
Wrecipiente (gr)	7,055.0	7,055.0	7,055.0
Wmuestra (gr)	13,430.0	13,370.0	13,445.0
Vol. Recipiente (c.c)	9,386.0	9,386.0	9,386.0
W volumétrico (gr/cm ³)	1.4309	1.4205	1.4325
W volumétrico (Kg/m ³)	1,430.9	1,424.5	1,432.5
Promedio	1,429.3		

Observaciones: el cálculo del volumen del recipiente se realizó al final del ensayo.

Laboratorista: O. O. S.

Revisó: S. F. A. S.

3.1.3.4. RESISTENCIA AL DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO UTILIZANDO LA MAQUINA DE LOS ANGELES (ASTM C-131)

La resistencia a la abrasión de un agregado se usa a menudo como un índice de calidad. Esta es esencial cuando el agregado será utilizado en concreto que estará sometido a la abrasión, como pavimentos o pisos, en estos casos se debe tomar muy en cuenta la dureza del agregado grueso, como también una pasta de alta calidad.

La prueba más común de resistencia al desgaste y al impacto, la cual es utilizada en este estudio es la Prueba de Los Angeles de acuerdo al método ASTM C-131-81; debido a que el tamaño máximo es de 19 mm (3/4") y ésta tiene aplicación para agregados gruesos menores 1 1/2", la granulometría resultó ser Tipo "B". Los resultados son mostrados en la Tabla 3.7, página No. 118; los cuales como puede observarse son similares a los obtenidos en la Primera Etapa de este estudio, reflejando una buena resistencia al desgaste.

TABLA 3.7

ENSAYO DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE CON LA PRUEBA DE LOS ANGELES (ASTM C-131)

Material : Grava No. 1

Procedencia : Pedreira "La Cascada". Río San Antonio

Fecha : 31/enero/95

Velocidad de la máquina: 33 Rev/min

No. Revoluciones: 500

No. de esferas: 11

Peso de esferas: 4.584 ± 25 gr

GRANULOMETRIA TIPO "B"		PRUEBA No.		
		1	2	3
RETENIDO	1/2"=2500±50	2500	2500	2500
EN MALLA	3/8"=2500±50	2500	2500	2500
Peso total de la muestra (a)		5000	5000	5000
Peso final de muestra (b) retenida en malla No. 12		4053.9	4124.9	4062.1
% desgaste = ((a-b)/a)*100		18.92	17.56	18.76
% Desgaste → Promedio		18.41		
% Desgaste máximo según Norma		50		

Observaciones: Los pesos de los agregados ya fueron destarados.

LABORATORISTA: S. F. A. S.

REVISOR: O. O. S.

3.1.3.5. PRUEBA PARA PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS EN AGREGADO GRUESO

Esta prueba consiste en determinar el porcentaje de partículas planas y alargadas en una muestra de agregado grueso. Esta prueba no está normada por la ASTM, pero si por el CUERPO DE INGENIEROS DEL EJERCITO DE LOS EE.UU. (CRD-C119-53) al cual se le ha llamado "METODO DE PRUEBA PARA PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS EN AGREGADO GRUESO".

Para la realización de la prueba se lavó una cantidad suficiente de una muestra de agregado grueso previamente tamizada por la malla que pasa el ciento por ciento de TMA de 3/4", luego ésta fué colocada en el horno durante 24 horas para su secado.

Posteriormente la muestra en referencia fué cuarteada hasta obtener una cantidad de 5 kilogramos, la que fué tamizada por las mallas de 1/2" y 3/8", pesándose las cantidades referidas en cada malla; las cuales se separaron en tres grupos: planas, alargadas y aquellas que no son ni planas ni alargadas. La separación anterior fué obtenida usando un calibrador (Pie de Rey) con el cual se midió la longitud, el ancho y el espesor de cada partícula para ser clasificada de acuerdo a las siguientes relaciones:

- | | |
|--|--|
| <p>- Partículas Planas</p> $\frac{\text{ancho}}{\text{espesor}} > 3$ | <p>- Partículas alargadas</p> $\frac{\text{longitud}}{\text{ancho}} > 3$ |
|--|--|

Los resultados y se muestran en la Tabla 3.8, pág. 1.19'

* Ver Anexo

TABLA 3.8

Malla (Pulg)	Peso Retenido (grs)	PARTICULAS					
		Planas	%	Alargadas (grs)	%	Ni planas ni alargadas	%
1/2	2717.0	148.0	5.4	173.0	6.4	2396.0	88.2
3/8	1506.0	42.0	3.2	139.0	10.6	1131.0	86.2

3.1.3.6. PRUEBA PARA CONTENIDO DE HUMEDAD TOTAL POR SECA-DO (ASTM C-566)

Esta prueba se elaboró de acuerdo a la Norma establecida por la ASTM; la cual especifica que para una muestra de agregado grueso de 3/4" corresponde una cantidad de 3.0 kg (3000 grs). Los resultados son mostrados en el Cuadro que se presenta a continuación:

PRUEBA No.	TARA	PESO MUESTRA + TARA	PESO MUESTRA SECA + TARA	% HUMEDAD
1	165.90	3,165.90	3,135.8	1.014
2	188.10	3,188.10	3,160.0	0.945
3	166.00	3,166.00	3,134.8	1.050
PROMEDIO				1.000

El contenido de humedad total se calculó de la misma manera que para la arena, utilizando la formula siguiente:

$$\% \text{ Humedad} = (B-A)/A * 100$$

A = peso muestra secada al horno durante 24 horas

B = peso de la muestra en condición a utilizar

3.1.3.7 SUPERPLASTIFICANTE

El aditivo utilizado como superfluidificante y como reductor de agua fue el conocido comercialmente como Sikament (Tipo A) de la fabrica SIKA, por no haber disponibles en el mercado Reductores de Agua de Alto Rango como el Tipo G. Al aditivo en referencia no se le realizaron pruebas de laboratorio. Los datos fueron retomados de la Primera Investigación (Parte I) o del fabricante. Los datos retomados son:

Densidad = 1.2 Kg/Lts

% de sólidos en peso = 15.5

GE = 1.12

3.1.3.8. MICROSILICA

La adición (Microsilica) ha utilizar fue la suministrada por el fabricante "GRACE" denominada comercialmente por éste, como "Force 10,000". A esta adición al igual que el aditivo Reductor de Agua no se le realizaron pruebas, retomandose de igual manera la información técnica proporcionada por el fabricante, tales como la Gravedad Específica (GE) que es 2.2; la cual fue utilizada para la dosificación de la mezcla, ésta GE es ligeramente menor que la utilizada en la primera Investigación (2.23). El contenido del dióxido de silicio (SiO_2) oscila en un rango comprendido 92-98%.

3.2. PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO

En base a las propiedades obtenidas de las pruebas de Laboratorio que se realizó a los materiales, que componen el CGC y que se han presentado anteriormente, se estableció las proporciones mediante un diseño de mezclas. El método de diseño utilizado fué "EL METODO DE VOLUMEN ABSOLUTO".

En cuanto al concreto fresco se le hizo la prueba de revenimiento; y al concreto endurecido se le efectuaron las pruebas de resistencia a la compresión y resistencia al ataque de agentes químicos.

3.2.1. DISEÑO DE MEZCLAS

Existe diversidad de métodos para el diseño de mezclas, no obstante, los más usados son dos. Uno de ellos está basado en un peso estimado del concreto por volumen unitario y el otro está basado en cálculos del volumen absoluto ocupado por los componentes del concreto.

En la presente investigación se elaboraron 3 diseños de mezclas (A, B y C) los que se adjuntan en los formatos correspondientes.

Los diseños de las mezclas de prueba se realizaron conforme al método ACI - 211.1-81 modificados.

Para el diseño inicial (MEZCLA A) se estableció la relación A/C en 0.30 y se seleccionó el revenimiento en 5 cms como el mínimo trabajable. Esta mezcla

no incluyó ningún tipo de aditivo, la función de ésta es que sirviera como mezcla de referencia o control.

La mezcla "B" se realizó con una relación $A/C = 0.30$ y se le agregó aditivo superplastificante en un 2% y la mezcla "C" se seleccionó la relación $A/C+P = 0.33$ y el aditivo superplastificante le fué aumentado a 2.5%.

TECNOLOGÍA AVANZADA DEL CONCRETO
DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO-METODO DE VOLUMEN ABSOLUTO

Mezcla de Cemento y Microsilica (SRA)

Mezcla de Ensayo: ACI 211-1-81

Práctica Recomendable para Seleccionar Proporcionamientos
de Concreto Normal y Pesado

1. INFORMACION DE DISEÑO: MEZCLA "A"

Tipo de Cemento	<u>I(PM)</u>	Tamaño de Agregado Máximo	<u>19 mm</u>
Tipo de Microsilica	<u>--</u>	Contenido de aire: (incluido)	<u>-- %</u>
Tipo de Aditivo	<u>--</u>	(atrapado)	<u>2 %</u>
		Revenimiento Recomendado: Mínimo	<u>8 cm</u>
Relación A/(C+P)	<u>0.30</u>	Máximo	<u>10 cm</u>
Agua de Mezcla	<u>200 kg/m³</u>	En uso	<u>5.5 cm</u>

2. PROPORCION DE MICROSILICA, ADITIVO Y AGREGADO GRUESO A USAR

Microsilica por Volumen de Cemento (fv %)	:	<u>0</u>	%
Aditivo/100 kg/(Cemento+Microsilica))Pad)	:	<u>0</u>	Kg
Volumen de Agregado Grueso Seco		<u>0.66</u>	%

3. DATOS DE MATERIALES (de Pruebas Previas)

3.1. Gravedad Específica		3.2. Contenido Total de Humedad	
Agregado Fino	<u>2.6</u>	Agregado fino	<u>8 %</u>
Agregado grueso	<u>2.6</u>	Agregado grueso	<u>1.6 %</u>
Microsilica (Gep)	<u>--</u>		
Aditivo	<u>--</u>	3.3. Absorción	
		Agregado Fino	<u>3.49 %</u>
		Agregado grueso	<u>1.67 %</u>
3.4. Peso Unitario			
Agregado Grueso:	<u>1429.30 kg/m³</u>		
3.5. % de Sólidos en Peso		3.6. Módulo de finura	<u>2.84</u>
en el aditivo	<u>-- %</u>		

4. DETERMINACION DE RELACION A/(C+P)

$$\frac{3.10 A/(C+P)}{3.10 (1-Fv) + Gep (Fv)} = \frac{3.10 (0.30)}{3.1 (1 - 0) + () (0)} = 0.30\%$$

5. DETERMINACION DE MICROSILICA EN PESO

$$Fw \% = \frac{1}{1 + \frac{(3.10) (1 - 1)}{Gep Fv}} \times 100 = \frac{---}{---} \times 100 = --- \%$$

6. DETERMINACION DE CEMENTO, MICROSILICA, ADITIVO Y AGREGADO GRUESO POR METRO CUBICO.

Contenido de Cemento más Microsílica

$$(C+P) = \frac{A}{A/(C+P)} = \frac{200}{0.30} = 666.67 \text{ kg/m}^3$$

6.1. Contenido de Microsílica

$$(C + P) * (Fw) = \underline{\hspace{2cm}} * \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

6.2. Contenido de Cemento

$$(C + P) - (C + P) * (Fw) = 666.67 - 0 = 666.67 \text{ kg/m}^3$$

6.3. Contenido de aditivo

$$Pad/100 \text{ kg} * (C+P)/100 * Gead = \underline{\hspace{1cm}} * \underline{\hspace{1cm}} / 100 * \underline{\hspace{1cm}} = \underline{\hspace{1cm}} \text{ kg/m}^3$$

7. CORRECCION DE AGUA DE MEZCLA POR AGUA EN ADITIVO

Agua $\underline{\hspace{2cm}}$ kg/m³

Menos agua presente en aditivo para mezcla
 $\underline{\hspace{2cm}}$ kg/m³ * (1 - $\underline{\hspace{1cm}}$ % sólidos) = $\underline{\hspace{2cm}}$ kg/m³

Peso de Agua Corregido $\underline{\hspace{2cm}}$ Kg/m³

8. CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO EN PESO

$$0.66 \text{ (\% en Volumen)} * 1429.30 \text{ (peso unitario)} = 943.34 \text{ kg/m}^3$$

9. DETERMINACION DE VOLUMENES ABSOLUTOS

Cemento	<u>666.67</u> kg/m ³ ÷ (3.10 G.e * 1000) = <u>0.215</u> m ³
Microsílica	<u>---</u> kg/m ³ ÷ (---- G.e * 1000) = <u>---</u> m ³
Aditivo	<u>---</u> kg/m ³ ÷ (---- G.e * 1000) = <u>---</u> m ³
Agua Corregida (No. 7)	<u>200</u> kg/m ³ ÷ (1.0 G.e * 1000) = <u>0.200</u> m ³
Agregado Grueso (No. 8)	<u>943.34</u> kg/m ³ ÷ (2.6 G.e * 1000) = <u>0.363</u> m ³

Aire Incluido o Atrapado	..... <u>2 % / 100</u> = <u>0.020</u> m ³
Subtotal	Peso = <u>1810.01</u> kg/m ³ Volumen = <u>0.798</u> m ³
Agregado Fino	..... 1 - <u>0.798</u> = <u>0.202</u> m ³

$$0.202 \text{ m}^3 * 2.6 \text{ Ge} * 1000 = 525.20 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Peso total} = 2336.21 \text{ kg/m}^3 \quad \text{Total Vol Absoluto} = 1.000 \text{ m}^3$$

10. CORRECCION DE DISEÑO ANTES DE MEZCLA DE PRUEBA, DEBIDO A HUMEDAD O ABSORCION DE LOS AGREGADOS

	Peso Diseño kg/m ³	Peso Ajustado kg/m ³
Cemento	<u>666.67</u>	<u>666.67</u>
Microsílica	<u>---</u>	<u>---</u>
Aditivo	<u>---</u>	<u>---</u>
Agregado Fino (P.V.V.)	<u>525.20 (a) +</u>	
Más 8 % H umedad Total	<u>42.02 (d) =</u> →	<u>567.22</u>
Agregado Grueso	<u>943.34 (b) +</u>	
Más 1.6 % Humedad Total	<u>15.10 (e) =</u> →	<u>958.44</u>
Agua	<u>200</u>	
Menos contenido de agua en	<u>57.12</u>	
Agregado fino y grueso:		
Sub-total.....	<u>142.88</u>	

$$525.20 * 0.0349$$

$$\text{Más 3.49 \% Absorción por Agregado Fino } 18.33 \text{ (f) } 943.34 * 0.0167$$

$$\text{Más 1.67 \% Absorción Agregado Grueso } 15.75 \text{ (g) } = 176.96 \text{ (c) } \rightarrow 142.88 + 18.33 + 15.75$$

$$\text{Peso Total } 2369.29 \rightarrow 666.67 + 567.22 + 958.44 + 176.96$$

Porcentaje de Agregado Fino en Peso

$$\frac{(a)}{(a) + (b)} * 100 = \frac{525.20}{525.20 + 943.34} * 100 = 35.76 \%$$

Porcentaje de Agregado Fino por Volumen

$$\frac{\text{Volumen de Agregado Fino}}{\text{Vol A.F. + Vol A.G.}} * 100 = \frac{0.202}{0.202 + 0.363} * 100 = 35.75\%$$

$\frac{\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}{\text{Kg}}$

11. Mezcla de Prueba por Bolsa de Cemento en Peso

Bolsa de cemento por m³ = contenido cemento / 42.5 = 666.67 / 42.5 = 15.69 ^{kg/m³}

Cemento	42.5 kg	-
Microsilica	---	kg
Aditivo (o Superfluidificante)	---	Kg
Agregado Fino	36.15	Kg +
Agregado grueso	61.09	kg +
Agua	11.28	kg +
Peso total por bachada	151.02	kg =

Volumen de Aditivo a Medir

_____ kg * 1000 / _____ Gead = _____ cc

12. Información de Mezcla

Peso Unitario Calculado	=	_____ kg/m ³
Revenimiento	=	_____ cm
Peso Unitario Medido (real)	=	_____ kg/m ³
Contenido de aire (real)	=	_____ %

Trabajabilidad	Buena _____	Regular _____	Pobre _____
Apariencia	Buena _____	Regualr _____	Rocoso _____

TECNOLOGIA AVANZADA DEL CONCRETO
DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO-METODO DE VOLUMEN ABSOLUTO
 Mezcla de Cemento y Microsilica (SRA)
 Mezcla de Ensayo: ACI 211-1-81
 Práctica Recomendable para Seleccionar Proporciones
 de Concreto Normal y Pesado

1. INFORMACION DE DISEÑO: MEZCLA "B"

Tipo de Cemento	<u>I(PM)</u>	Tamaño de Agregado Máximo	<u>19</u> mm
Tipo de Microsilica	<u>--</u>	Contenido de aire: (incluido)	<u>--</u> %
Tipo de Aditivo: Superplastificante Sika ment.		(atrapado)	<u>2</u> %
		Revenimiento Recomendado: Mínimo	<u>8</u> cm
Relación A/(C+P)	<u>0.30</u>	Máximo	<u>10</u> cm
Agua de Mezcla	<u>200 kg/m³</u>	En uso	<u>12.5</u> cm

2. PROPORCION DE MICROSILICA, ADITIVO Y AGREGADO GRUESO A USAR

Microsilica por Volumen de Cemento (fv %)	:	<u>0</u> %
Aditivo/100 kg/(Cemento+Microsilica) Pad)	:	<u>2.0</u> Kg
Volumen de Agregado Grueso Seco		<u>0.66</u> %

3. DATOS DE MATERIALES (de Pruebas Previas)

3.1. Gravedad Específica		3.2. Contenido Total de Humedad	
Agregado Fino	<u>2.6</u>	Agregado fino	<u>8</u> %
Agregado grueso	<u>2.6</u>	Agregado grueso	<u>1.6</u> %
Microsilica (Gep)	<u>--</u>	3.3. Absorción	
Aditivo	<u>1.12</u>	Agregado Fino	<u>3.49</u> %
		Agregado grueso	<u>1.67</u> %
3.4. Peso Unitario			
Agregado Grueso:	<u>1429.30 kg/m³</u>		
3.5. % de Sólidos en Peso en el aditivo	<u>15.5</u> %	3.6. Módulo de finura	<u>2.84</u>

4. DETERMINACION DE RELACION A/(C+P)

$$\frac{A}{C+P} = \frac{3.10 A/(C+P)}{3.10 (1-F_v) + G_{ep} (F_v)} = \frac{3.10 (0.30)}{3.1 (1 - 0) + (G_{ep}) (0)} = 0.30\%$$

5. DETERMINACION DE MICROSILICA EN PESO

$$F_w \% = \frac{1}{1 + \frac{(3.10)}{G_{ep}} (1 - 1)} \times 100 = \frac{1}{1 + \frac{(3.10)}{G_{ep}} (1 - 1)} \times 100 = \text{-----} \%$$

6. DETERMINACION DE CEMENTO, MICROSILICA, ADITIVO Y AGREGADO GRUESO POR METRO CUBICO.

Contenido de Cemento más Microsilica

$$(C+P) = \frac{A}{A/(C+P)} = \frac{200}{0.30} = 666.67 \text{ kg/m}^3$$

6.1. Contenido de Microsilica

$$(C + P) * (F_w) = \text{-----} * \text{-----} = \text{-----}$$

6.2. Contenido de Cemento

$$(C + P) - (C + P) * (F_w) = 666.67 - \text{0} = 666.67 \text{ kg/m}^3$$

6.3. Contenido de aditivo

$$P_{ad}/100 \text{ kg} * (C+P)/100 * G_{ead} = 2 * 666.67/100 * 1.12 = 14.933 \text{ kg/m}^3$$

7. CORRECCION DE AGUA DE MEZCLA POR AGUA EN ADITIVO

Agua 200 kg/m³

Menos agua presente en aditivo para mezcla

$$14.933 \text{ kg/m}^3 * (1 - 15.5 \% \text{ sólidos}) = \text{-----} = 12.618 \text{ kg/m}^3$$

Peso de Agua Corregido 187.38 kg/m³

8. CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO EN PESO

0.66 (% en Volumen) * 1429.30 (peso unitario) = 943.34 kg/m³

9. DETERMINACION DE VOLUMENES ABSOLUTOS

Cemento	<u>666.67</u> kg/m ³ ÷ (3.10 G.e * 1000) = <u>0.215</u> m ³
Microsilica	<u>----</u> kg/m ³ ÷ (---- G.e * 1000) = <u>----</u> m ³
Aditivo	<u>14.933</u> kg/m ³ ÷ (1.12 G.e * 1000) = <u>0.013</u> m ³
Agua Corregida (No. 7)	<u>187.38</u> kg/m ³ ÷ (1.0 G.e * 1000) = <u>0.187</u> m ³
Agregado Grueso (No. 8)	<u>943.34</u> kg/m ³ ÷ (2.6 G.e * 1000) = <u>0.363</u> m ³

Aire Incluido o Atrapado	..... 2 % / 100	..... = <u>0.020</u> m ³
Subtotal	Peso = <u>1812.32</u> kg/m ³	Volumen = <u>0.798</u> m ³
Agregado Fino	..... 1 - 0.798	= <u>0.202</u> m ³

0.202 m³ * 2.6 Ge * 1000 = 525.20 Kg/m³

Peso total = 2335.21 kg/m³ Total Vol Absoluto = 1.000 m³

10. CORRECCION DE DISEÑO ANTES DE MEZCLA DE PRUEBA DEBIDO A HUMEDAD O ABSORCION DE LOS AGREGADOS

	Peso Diseño kg/m ³	Peso Ajustado kg/m ³
Cemento	<u>666.67</u>	<u>666.67</u>
Microsilica	<u>----</u>	<u>----</u>
Aditivo	<u>14.933</u>	<u>14.933</u>
Agregado Fino (P.V.V.)	<u>525.20 (a)</u>	
Más 8 % H umedad Total	<u>17.70 (d) =</u>	<u>542.90</u>
Agregado Grueso	<u>943.34 (b)</u>	
Más 1.6 % Humedad Total	<u>9.43 (e) =</u>	<u>952.77</u>
Agua	<u>187.43</u>	
Menos contenido de agua en Agregado fino y grueso:	<u>27.13</u>	
Sub-total.....	<u>160.25</u>	
Más 3.49 % Absorción por Agregado Fino	<u>18.33 (f)</u>	
Más 1.67 % Absorción Agregado Grueso	<u>15.75 (g) =</u>	<u>194.33 (c)</u>
Peso Total		<u>2371.60</u>

Porcentaje de Agregado Fino en Peso

$$\frac{(a)}{(a) + (b)} * 100 = \frac{525.20}{525.20 + 943.34} * 100 = 35.76 \%$$

Porcentaje de Agregado Fino por Volumen

$$\frac{\text{Volumen de Agregado Fino}}{\text{Vol A.F.} + \text{Vol A.G.}} * 100 = \frac{0.202}{0.202 + 0.363} * 100 = 35.75\%$$

11. Mezcla de Prueba por Bolsa de Cemento en Peso

Bolsa de cemento por m³ = contenido cemento/42.5 = 666.67/42.5 = 15.69

Cemento	42.5	kg
Microsílica	---	kg
Aditivo (o Superfluidificante)	0.952	Kg
Agregado Fino	34.60	Kg
Agregado grueso	60.72	kg
Agua	12.39	kg
Peso total por bachada	151.162	kg

Volumen de Aditivo a Medir

$$0.952 \text{ kg} * 1000 / 1.12 \text{ Gead} = 850.0 \text{ cc}$$

12. Información de Mezcla

Peso Unitario Calculado	=	_____	kg/m ³
Revenimiento	=	_____	cm
Peso Unitario Medido (real)	=	_____	kg/m ³
Contenido de aire (real)	=	_____	%
Trabajabilidad	Buena ✓	Regular _____	Pobre _____
Apariencia	Buena ✓	Regular _____	Rocoso _____

3

TECNOLOGIA AVANZADA DEL CONCRETO
DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO-METODO DE VOLUMEN ABSOLUTO

Mezcla de Cemento y Microsilica (SRA)

Mezcla de Ensayo: ACI 211-1-81

Práctica Recomendable para Seleccionar Proporcionamientos
de Concreto Normal y Pesado

1. INFORMACION DE DISEÑO: MEZCLA "C"

Tipo de Cemento	I(PM)	Tamaño de Agregado Máximo	19 mm
Tipo de Microsilica	polvo	Contenido de aire: (incluido)	-- %
Tipo de Aditivo	Superplastificante	(atrapado)	2 %
		Revenimiento Recomendado: Mínimo	_____ cm
Relación A/(C+P)	0.33	Máximo	_____ cm
Agua de Mezcla	200 kg/m ³	En uso	_____ cm

2. PROPORCION DE MICROSILICA, ADITIVO Y AGREGADO GRUESO A USAR

Microsilica por Volumen de Cemento (fv %)	:	10 %
Aditivo/100 kg/(Cemento+Microsilica))Pad)	:	2.5 Kg
Volumen de Agregado Grueso Seco		0.66 %

3. DATOS DE MATERIALES (de Pruebas Previas)

3.1. Gravedad Específica		3.2. Contenido Total de Humedad	
Agregado Fino	2.6	Agregado fino	1.8 %
Agregado grueso	2.6	Agregado grueso	1.0 %
Microsilica (Gep)	2.2		
Aditivo	1.12	3.3. Absorción	
		Agregado Fino	3.49 %
		Agregado grueso	1.67 %
3.4. Peso Unitario			
Agregado Grueso:	1429.30 kg/m ³		
3.5. % de Sólidos en Peso en el aditivo	15.5 %	3.6. Módulo de finura	2.84

4. DETERMINACION DE RELACION A/(C+P)

$$\frac{A}{C+P} = \frac{3.10 A/(C+P)}{3.10 (1-F_v) + G_{ep} (F_v)} = \frac{3.10 (0.33)}{3.1 (1 - 0) + (2.2) (0.10)} = 0.34$$

5. DETERMINACION DE MICROSILICA EN PESO

$$F_w \% = \frac{1}{1 + \frac{3.10}{G_{ep}} \left(\frac{1}{F_v} - 1 \right)} \times 100 = \frac{1}{1 + \frac{3.10 * 1}{2.2} - 1} \times 100 = 7.31\%$$

6. DETERMINACION DE CEMENTO, MICROSILICA, ADITIVO Y AGREGADO GRUESO POR METRO CUBICO.

Contenido de Cemento más Microsilica

$$(C+P) = \frac{A}{A/(C+P)} = \frac{200}{0.34} = 588.24 \text{ kg/m}^3$$

6.1. Contenido de Microsilica

$$(C + P) * (F_w) = 588.24 * 0.0731 = 43.00 \text{ kg/m}^3$$

6.2. Contenido de Cemento

$$(C + P) - (C + P) * (F_w) = 588.24 - 43.0 = 545.24 \text{ kg/m}^3$$

6.3. Contenido de aditivo

$$P_{ad}/100 * (C+P)/100 * G_{ead} = (2.5) (588.24/100) (1.12) = 16.47 \text{ kg/m}^3$$

7. CORRECCION DE AGUA DE MEZCLA POR AGUA EN ADITIVO.Agua 200Kg/m³

Menos agua presente en aditivo para mezcla

$$16.47 \text{ kg/m}^3 * (1 - 15.5 \% \text{ sólidos}) = 13.92 \text{ kg/m}^3$$

Peso de Agua Corregido 186.08Kg/m³

8. CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO EN PESO

$$0.66 \text{ (\% en Volumen)} * 1429.30 \text{ (peso unitario)} = 943.34 \text{ kg/m}^3$$

9. DETERMINACION DE VOLUMENES ABSOLUTOS

Cemento	<u>545.24</u>	kg/m ³ ÷ (3.10 G.e * 1000) =	<u>0.176</u>	m ³
Microsilica	<u>43.00</u>	kg/m ³ ÷ (2.2 G.e * 1000) =	<u>0.020</u>	m ³
Aditivo	<u>16.47</u>	kg/m ³ ÷ (1.12 G.e * 1000) =	<u>0.015</u>	m ³
Agua Corregida (No. 7)	<u>186.08</u>	kg/m ³ ÷ (1.0 G.e * 1000) =	<u>0.186</u>	m ³
Agregado Grueso (No. 8)	<u>943.34</u>	kg/m ³ ÷ (2.6 G.e * 1000) =	<u>0.363</u>	m ³

Aire Incluido o Atrapado	.....	2 % / 100	.....	=	<u>0.020</u>	m ³
Subtotal	Peso =	1736.13 kg/m ³	.....	..Volumen =	<u>0.780</u>	m ³
Agregado Fino	.....	1 - 0.798 =	<u>0.220</u>	m ³		

$$0.220 \text{ m}^3 * 2.6 \text{ Ge} * 1000 = 572.00 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Peso total} = 2308.13 \text{ kg/m}^3 \quad \text{Total Vol Absoluto} = 1.000 \text{ m}^3$$

10. CORRECCION DE DISEÑO ANTES DE MEZCLA DE PRUEBA DEBIDO A HUMEDAD O ABSORCION DE LOS AGREGADOS

	Peso Diseño kg/m ³	Peso Ajustado kg/m ³
Cemento	<u>545.24</u>	<u>545.24</u>
Microsilica	<u>43.00</u>	<u>43.00</u>
Aditivo	<u>16.47</u>	<u>16.47</u>
Agregado Fino (P.V.V.)	<u>572.00 (a)</u>	
Más 8 % H umedad Total	<u>10.30 (d) =</u>	<u>582.30</u>
Agregado Grueso	<u>943.34 (b)</u>	
Más 1.0 % Humedad Total	<u>9.43 (e) =</u>	<u>952.77</u>
Agua	<u>186.08</u>	
Menos contenido de agua en	<u>19.73</u>	
Agregado fino y grueso:		
Sub-total.....	<u>166.35</u>	
Más 3.49 % Absorción por Agregado Fino	<u>19.96 (f)</u>	
Más 1.67 % Absorción Agregado Grueso	<u>15.75 (g) =</u>	<u>202.06 (c)</u>
Peso Total		<u>2341.84</u>

Porcentaje de Agregado Fino en Peso

$$\frac{(a)}{(a) + (b)} * 100 = \frac{572.00}{572.00 + 943.34} * 100 = 37.75\%$$

Porcentaje de Agregado Fino por Volumen

$$\frac{\text{Volumen de Agregado Fino}}{\text{Vol A.F. + Vol A.G.}} * 100 = \frac{0.220}{0.220 + 0.363} * 100 = 35.74\%$$

11. Mezcla de Prueba por Bolsa de Cemento en Peso

Bolsa de cemento por m³ = contenido cemento/42.5 = $\frac{545.24}{42.5} = 12.83$ ^{m³} _{BOLSAS}

Cemento	42.5 kg
Microsílica	3.35 kg
Aditivo (o Superfluidificante)	1.28 Kg
Agregado Fino	45.39 Kg
Agregado grueso	74.26 kg
Agua	15.75 kg
Peso total por bachada	182.53 kg

Volumen de Aditivo a Medir

$1.28 \text{ kg} * 1000 / 1.12 \text{ Gead} = 1142.86 \text{ cc}$

12. Información de Mezcla

Peso Unitario Calculado	=	_____ kg/m ³
Revenimiento	=	_____ cm
Peso Unitario Medido (real)	=	_____ kg/m ³
Contenido de aire (real)	=	_____ %

Trabajabilidad	Buena _____	Regular _____	Pobre _____
Apariencia	Buena _____	Regualr _____	Rocoso _____

3.3. CONCRETO FRESCO

En el afán de obtener un concreto, que presente propiedades reológicas satisfactorias, para su manejo y colocación, se han tomado en consideración algunos factores que intervienen proporcionando un concreto cuya consistencia sea plástica o semifluida, acompañada de una cohesión adecuada evitando de esta manera la segregación.

Dentro de estas consideraciones se tiene que en el concreto fresco inciden decisivamente los agregados, ya que éstos deben ser de granulometría adecuada, uniformidad en el contenido de humedad y, en el caso de los agregados triturados es preferible los tendientes a formas cúbicas y esféricas, en cuanto a las de formas indeseables las alargadas y planas pueden generar problemas de trabajabilidad y mayor demanda de agua.

3.3.1 FABRICACION DE ESPECIMENES DE PRUEBA

Los especímenes se fabricaron según Norma ASTM C-192 "NORMA PRACTICA PARA LA FABRICACION Y CURADO EN EL LABORATORIO DE ESPECIMENES DE PRUEBA DE CONCRETO", describiéndose a continuación el proceso:

Luego de engrasar los cilindros para evitar que el concreto fuera a adherirse a las paredes del mismo, se llenaron en tres capas utilizando un cucharón, moviéndolo alrededor de la orilla superior para obtener una distribución simétrica del concreto.

En cuanto a los agregados, se sabe que éstos colaboran en el aumento de la trabajabilidad (Ver Capítulo II) cuanto más se acercan a formas esféricas disminuyendo además, la demanda de agua, porque se reduce su área superficial.

Para medir la trabajabilidad del concreto se tienen diferentes métodos ideados por varios investigadores; no obstante, ninguno de los ensayos podría indicar todas las propiedades individuales que colectivamente están involucradas en el término "trabajabilidad".

Para el caso, se tiene que el cono de Abrams no mide la trabajabilidad de un concreto que involucre en su mezcla la microsilica aparentando ser un concreto intrabajable; sin embargo esta misma mezcla cuando se le aplica vibración se vuelve muy trabajable.

Cabe señalar, que en cuanto a la Mezcla "A" se incrementó la proporción de agua cuando se realizaron bachadas de prueba, manteniendo constante el factor de relación A/C, con el fin de aumentar el asentamiento y poder así, comenzar la elaboración de cilindros pertenecientes a dicha mezcla.

En nuestra mezcla de control "A" el revenimiento varía de 4.5 a 7.0 cms.

La trabajabilidad en nuestro caso cuando se utilizó microsilica fué medida con el cono de Abrams (ASTM C-143). Este método, no representa las cualidades de este concreto de consistencia rígida; pero es éste el más usado en la práctica.

Para su consolidación de los especímenes se utilizó un vibrador accionado por motor eléctrico, introduciéndolo de 3 a 4 veces con una duración de inmersión de 3 a 4 segundos en cada capa.

Posteriormente se le enrasó, con la manipulación mínima necesaria con el objetivo de producir una superficie plana a nivel del borde del molde; para luego colocarle su correspondiente nomenclatura en la parte superior.

Las tres mezclas realizadas (A, B y C) fueron consolidadas con vibrador conforme a la Norma ASTM C-192; ya que este tipo de concreto reológicamente se comporta mejor al aplicarse energía mecánica. El tipo de vibrador fue H-25, eléctrico;

MOTOR

Velocidad sin carga: 15,500 rpm

- peso: 5.4 Kgs

CABEZA VIBRATORIA

- Diámetro del eje = 25 mm

- Largo = 440 mm

- Diámetro de compactación: 40 cms

- Peso: 1.2 kgs

Una vez colocado y consolidado el concreto en los moldes, éstos se ubicaron en el cuarto húmedo en una superficie plana y libre de vibraciones.

Cuando se mezcló concreto en horas de mayor temperatura se le agregó agua en la mezcladora y después se vació, antes de iniciar la operación, para evitar pérdida por evaporación. Siempre se colocó antes de la carga de los

componentes del concreto una mezcla de cemento, arena y agua en cantidades suficientes para evitar pérdidas posteriores de finos en las mezclas de prueba.

Las condiciones climatológicas que imperaron durante el día en el proceso de elaboración de las mezclas fueron las siguientes:

- La temperatura en el laboratorio fue de $28^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$
- La humedad del medio ambiente fue seca
- Los mezclados se realizaron entre las 10:00 a.m. y las 4:00 p.m.

Por otra parte se realizaron revolturas en la mezcladora, cargas dosificadas para 1 bolsa de cemento, para poder completar 50 cilindros por mezcla. El total de cilindros fabricados de las 3 mezclas (A, B y C) fue de 150 especímenes de 150 mm x 300 mm de acuerdo a Norma (ASTM C-192) y 36 cilindros de 100 mm x 200 mm para ser sometidos a pruebas de resistencia al ataque de agentes químicos.

Tanto en la mezcla "B" como "C" se observó que el sangrado fue, casi nulo; en la primera debido a la acción del aditivo superfluidificante y en la segunda además del superfluidificante, se debió también a la cohesión, pegajosidad de la M.S. y efecto del microrelleno lo que impidió el sangrado.

Para mezclar el concreto, se utilizó una mezcladora de gasolina con capacidad de 1 bolsa, los componentes fueron pesados en una balanza con precisión de 5 grs y el aditivo fué medido en volumen.

Para la mezcla "A" el orden de carga de los componentes fue así:

1. Mezcla de mortero que además de cebar la máquina concretera evita pérdidas de finos en la mezcla de prueba y se vació.
2. Se cargó una lechada (mezcla de cemento y agua ambos de diseño) para mayor hidratación del cemento.
3. Se carga el agregado grueso
4. Se carga el agregado fino y el cemento

Luego se mezcló durante un período de 3 minutos.

En la mezcla "B", como en la mezcla "C"; la carga fue así:

1. Mezcla de mortero (Para cebar) y posterior descarga
2. Se carga el agregado grueso
3. Se carga el agregado fino
4. El cemento y la microsílca en el caso de la mezcla "C"
Se revuelve a velocidad de mezclado durante 1.5 minutos
5. Se agrega la mitad del agua de diseño y se revuelve durante 2.0 minutos
6. La mitad del agua restante se divide en otras dos partes; una de ellas se mezcla con el superplastificante y se agrega a la revoltura a velocidad de mezclado.
7. El agua restante se agrega al final.
8. El tiempo de revoltura para la mezcla "B" fué de 4.5 minutos
9. El tiempo de revoltura para la mezcla "C" fué de 5.0 minutos, aumentando este tiempo si era necesario, según inspección visual de la mezcla.

A continuación se muestra un cuadro comparativo de los resultados obtenidos en el concreto fresco de las tres mezclas realizadas y la FIG. 3.2. el revenimiento de la mezcla "B".

CONCEPTO	MEZCLA "A"	MEZCLA "B"	MEZCLA "C"
REVENIMIENTO(cm)	5.5 *	12.5 *	9.5 *
SANGRADO	FUE POCO	CASI NULO	NO HUBO
SEGREGACION	NO SE OBSERVO	NO SE OBSERVO	NO SE OBSERVO

CUADRO 3.1

NOTA: (*) Estos fueron los revenimientos que más se repitieron en las mezclas.

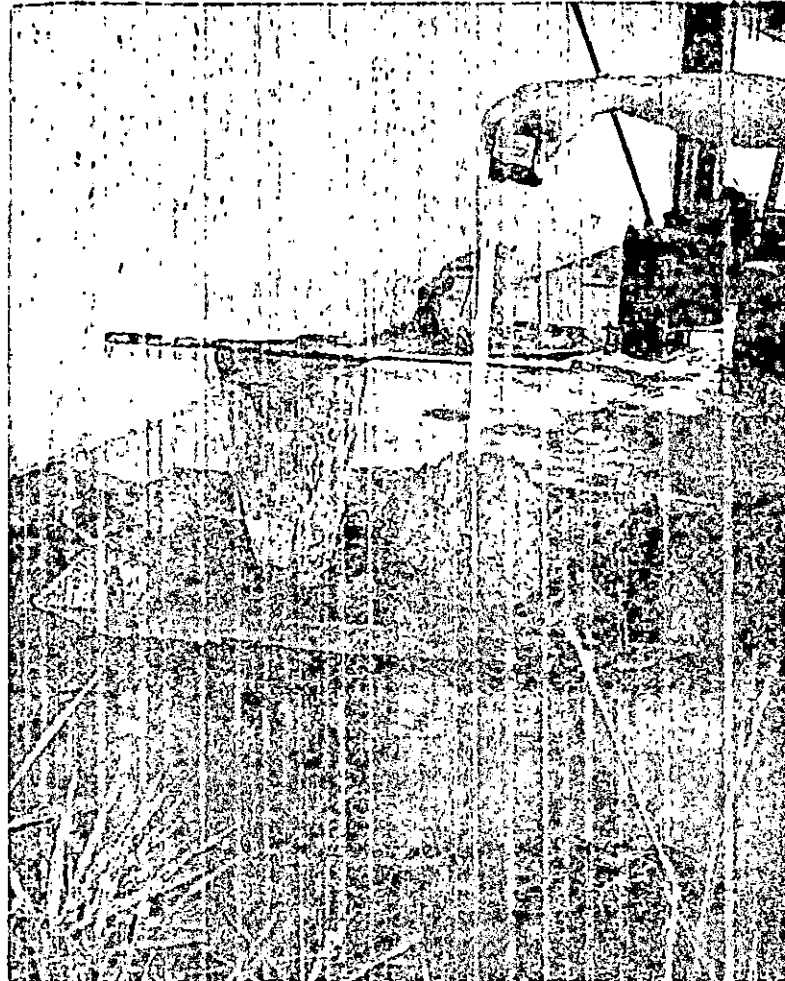


FIG. 3.2. La fotografía muestra el revenimiento medido mediante el cono de Abrams de la mezcla "B" el cual fué de 12.5 cms

3.4. CONCRETO ENDURECIDO

Las características tanto físicas como mecánicas mostradas por el concreto endurecido son el resultado de un acucioso control de calidad iniciado desde las pruebas a los componentes según normas correspondientes hasta la ruptura de los especímenes.

La resistencia del concreto por lo general continúa aumentando a medida avanza el tiempo; toda vez que exista algo de cemento sin hidratar y que éste, se mantenga húmedo o tenga cierta cantidad de humedad relativa.

Se fabricaron suficientes especímenes a fin de poder realizar un análisis estadístico a la ruptura del concreto a la edad de los 28 días, para todas las mezclas y poder así conocer valores promedios, desviación estandar y coeficiente de variación. En lo que respecta a la durabilidad, se someteran los especímenes de prueba al ataque de diferentes concentraciones de ácidos orgánicos y a los sulfatos para medir la respuesta del concreto (CGC) al ataque agresivo en el que podría verse involucrado.

Cabe agregar que el concreto endurecido fué sometido a ciertos controles en las etapas de: curado, cabeceado y ruptura de probetas, cuyas formas y procedimientos se detallan a continuación.

3.4.1. CURADO DE LOS ESPECIMENES

El curado de los especímenes se realizó de acuerdo a las especificaciones de la Norma ASTM C-192. Describiéndose el proceso como sigue:

Antes de efectuar el desmoldado, los especímenes fueron curados mediante dos formas:

- Utilizando cubiertas de papel humedecido colocado sobre la cara superior.
- Usando cubiertas plásticas herméticamente cerradas y sujetadas con hule para evitar la pérdida de agua de mezcla.

Al finalizar las 20 ± 2 horas de fabricados los cilindros, fueron cuidadosamente retirados de los moldes y sumergidos en la pila de curado conteniendo agua con cal hasta cumplir con las edades de prueba correspondientes, para cada espécimen.

3.4.2 CABECEO DE LOS ESPECIMENES

El cabeceo de los especímenes fué realizado de tres formas:

- Puliendo y nivelando la superficie superior con la máquina pulidora, usando un disco para cortar concreto.
- Haciendo uso de la máquina cortadora, marcando previamente la sección a cortar.

La mezcla "A" fué cabeceada completamente utilizando los métodos mencionados anteriormente; así como las mezclas "B" y "C" hasta la edad de los 60 días.

Únicamente los especímenes a los 90 días correspondientes a las mezclas "B" y "C" fueron cabeceados con material de Alta Resistencia y el procedimiento que se siguió se describe a continuación.

El primer paso fué rectificar la parte superior. Esto fué necesario porque cuando se fabrican, en la fase de enrasado, no quedan perfectamente planos, y al cargarlos así, se daría una distribución irregular de los esfuerzos de compresión sobre la cara superior, lo cual puede provocar fallas prematuras.

El rectificado de los cilindros de concreto se efectuó según procedimientos de la Norma ASTM C-617 "Cabeceo de cilindros de concreto", haciendo uso del aparato cabeceador.

Habiendo cabeceado los cilindros, éstos se sometieron al ensayo de compresión, de acuerdo a especificaciones de la Norma ASTM C-39, "Prueba de resistencia a la compresión para cilindros de concreto". Se ensayaron en la Máquina Universal Tinius-Olsen del Laboratorio de Suelos y Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, Universidad de El Salvador.

3.4.3 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

Los ensayos se realizaron a la edad de 7, 14, 28, 60 y 90 días para elaborar la curva edad-resistencia, ésta se calculó tomando como resultado el promedio de tres cilindros ensayados para cada fecha de prueba, a excepción de los 28 días que se tomó como el promedio de 30 especímenes ensayados para esa fecha. Los resultados de la ruptura para cada mezcla son mostrados en las

siguientes tablas 3.9, 3.10, 3.11 y gráficas 3.1, 3.2, 3.3 de pags. 147 - 152, así también pueden observarse en la FIG. 3.3 la máquina Universal con la cual se efectuó los ensayos de ruptura de los especímenes de concreto a la compresión y en la FIG. 3.4 se muestra la característica Falla Cónica de los CGC.

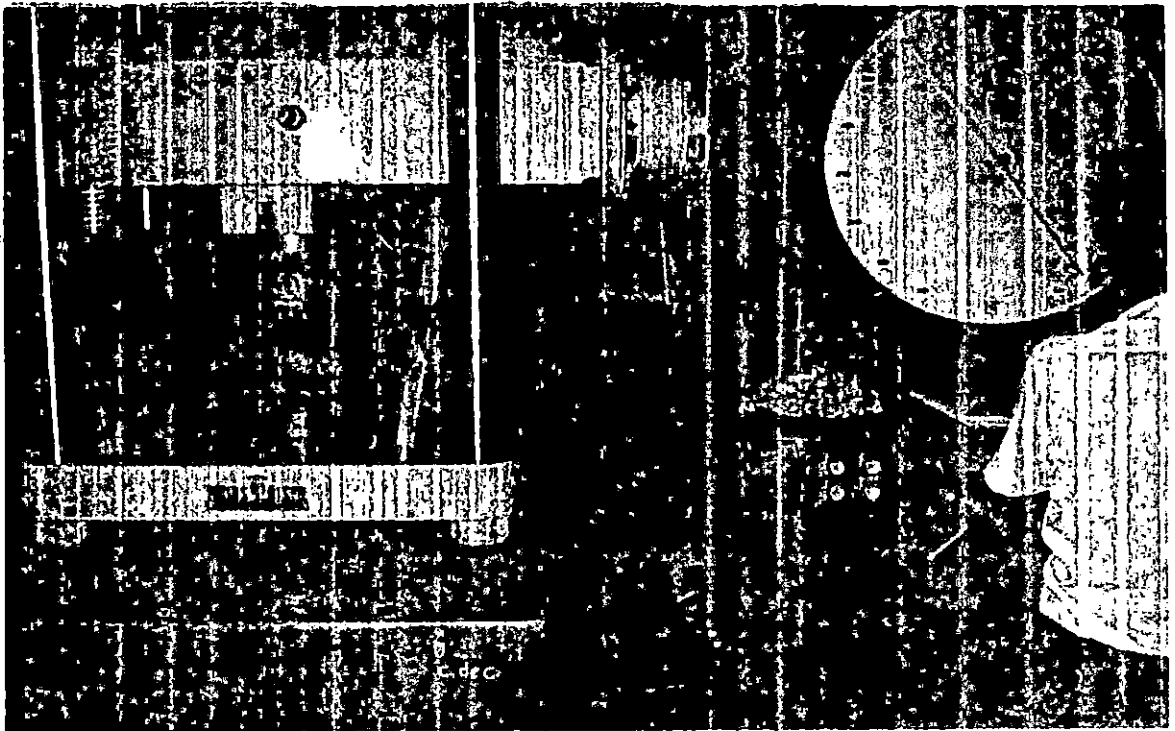


FIG. 3.3

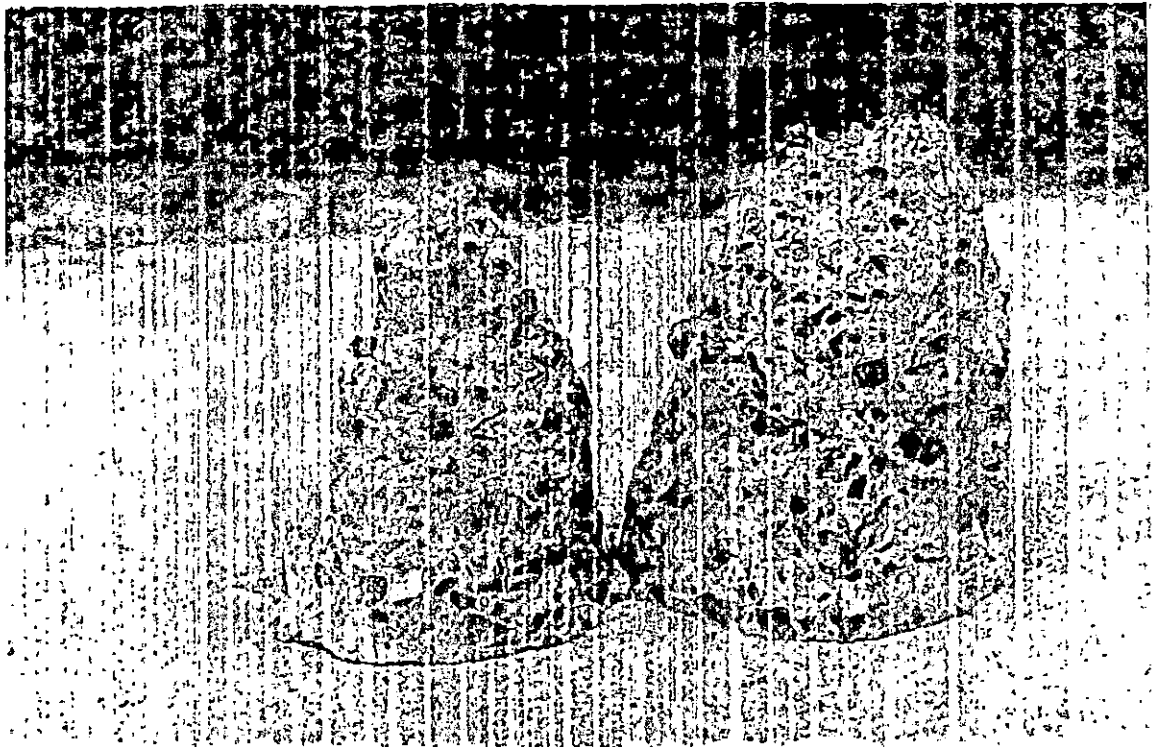


FIG. 3.4 Las fotografías muestran la prueba a compresión uniaxial en cilindros de 15 cms x 30 cms, así como el tipo de falla cónica

3.9. ENSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA COMPRESION
MEZCLA "A"

PROBETA No. 1	DIAMETRO (CMS)	ALTURA (CMS)	AREA (CM2)	PESO (KGS)	PESO VOL. (KG/M3)	EDAD (DIAS)	CARGA (KGS)	ESFUERZO (KG/CM2)
A-1	15.2	30.5	181.46	13.048	2357.6	7	59,750	329.27
A-2	15.3	30.5	183.85	13.069	2330.7	7	59,500	323.63
A-3	15.3	30.4	183.85	12.951	2317.2	7	58,250	316.83
							X7DIAS	323.24
A-4	15.2	30.5	181.46	13.024	2353.2	14	66,500	366.47
A-5	15.2	30.5	181.46	12.998	2348.5	14	63,000	347.18
A-6	15.3	30.4	183.85	13.030	2331.3	14	67,750	368.51
							X14 DIAS	360.72
A-8	15.3	30.5	183.85	12.992	2316.9	28	77,250	420.20
A-9	15.3	30.5	183.85	13.120	2339.8	28	69,500	373.10
A-10	15.3	30.3	183.85	13.052	2342.9	28	78,250	425.60
A-11	15.4	30.5	186.27	13.084	2303.0	28	75,000	402.60
A-12	15.3	30.5	183.85	13.073	2331.4	28	68,250	371.20
A-13	15.3	30.6	183.85	13.132	2334.2	28	74,500	405.20
A-14	15.4	30.5	186.27	13.055	2297.9	28	74,000	397.30
A-15	15.4	30.6	186.27	13.140	2312.9	28	77,000	413.40
A-18	15.3	30.5	183.85	13.028	2323.3	28	70,250	382.10
A-19	15.3	30.5	183.85	12.993	2317.1	28	87,500	475.90
A-20	15.2	30.5	181.46	13.010	2350.7	28	74,500	410.60
A-21	15.3	30.5	183.85	13.059	2328.9	28	74,000	402.50
A-22	15.3	30.3	183.85	12.982	2330.4	28	76,250	414.70
A-23	15.3	30.5	183.85	13.040	2325.5	28	75,250	409.30
A-24	15.3	30.5	183.85	12.965	2312.1	28	79,500	432.40
A-25	15.3	30.5	183.85	13.119	2339.6	28	79,750	433.80
A-26	15.2	30.5	181.46	13.100	2366.9	28	74,250	408.20
A-27	15.2	30.5	181.46	13.137	2373.7	28	84,250	464.30
A-28	15.3	30.5	183.85	13.128	2341.2	28	75,750	412.00
A-29	15.2	30.5	181.46	13.243	2392.8	28	81,750	444.70
A-30	15.2	30.5	181.46	13.150	2376.0	28	77,000	424.30
A-31	15.2	30.5	181.46	13.164	2378.5	28	76,500	421.60
A-32	15.3	30.5	183.85	13.190	2352.2	28	85,750	468.40
A-33	15.2	30.5	181.46	12.989	2346.9	28	75,750	417.50
A-34	15.3	30.5	183.85	12.973	2313.5	28	81,250	441.90
A-35	15.3	30.6	183.85	13.012	2312.9	28	72,500	394.30
A-36	15.2	30.3	181.46	12.880	2342.6	28	80,000	440.90
A-37	15.2	30.3	181.46	12.892	2344.8	28	82,250	453.70
A-38	15.2	30.3	181.46	12.973	2359.5	28	75,750	417.50
A-39	15.3	30.5	183.85	13.287	2359.5	28	79,000	429.70
							X28 DIAS	420.30
A-16	15.2	30.4	181.46	13.144	2382.7	60	85,250	469.80
A-17	15.0	30.4	176.71	13.034	2426.3	60	89,850	506.40
A-40	15.0	30.4	183.85	13.198	2361.4	60	87,000	467.00
							X60 DIAS	481.77
A-43	15.4	30.2	186.27	12.948	2301.7	90	93,000	499.27
A-44	15.5	30.3	188.69	13.051	2282.7	90	90,250	478.30
A-45	15.3	30.2	183.85	12.960	2334.2	90	94,250	512.55
							X90 DIAS	496.74

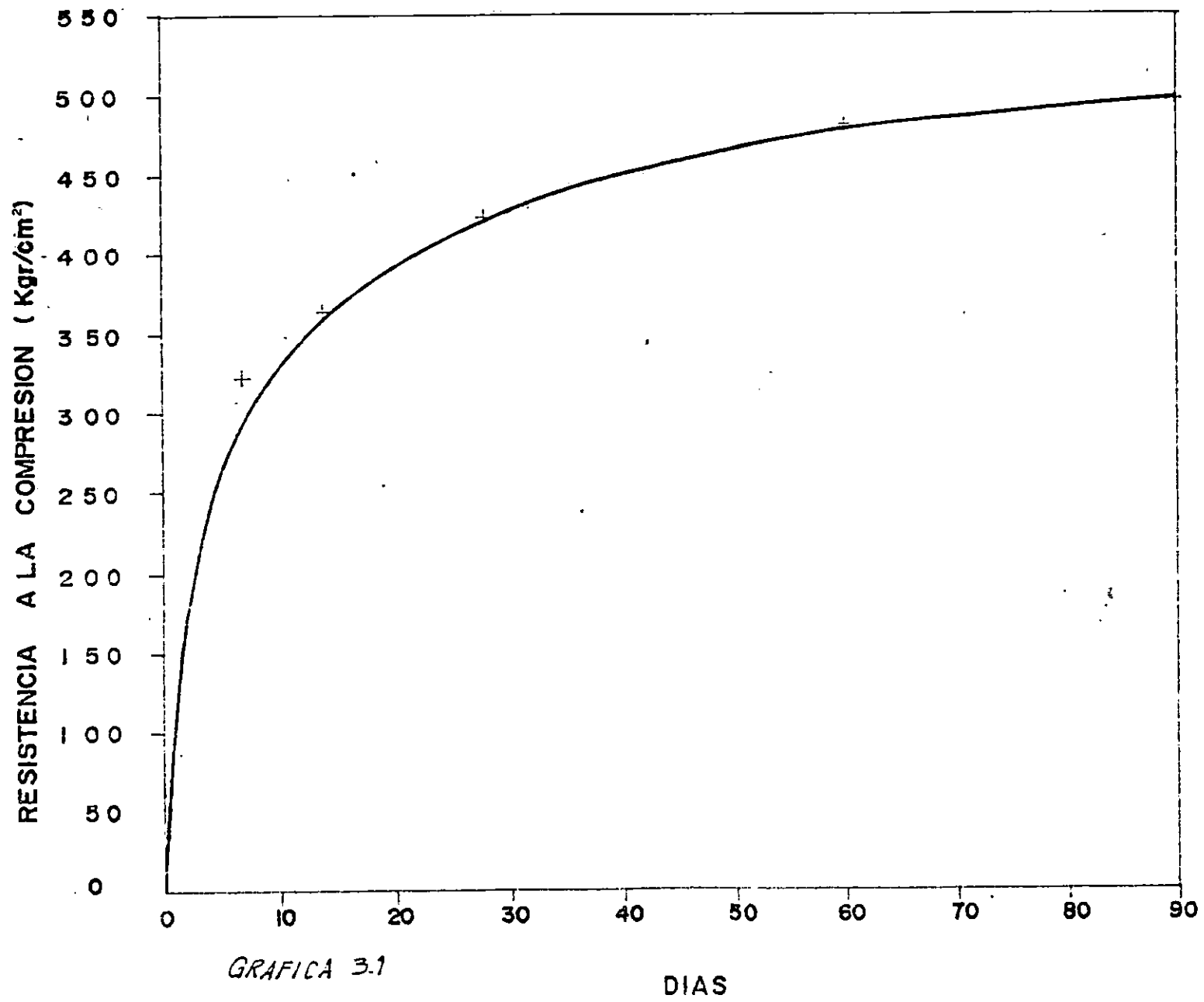
3.10. ENSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA COMPRESION
MEZCLA "B"

PROBETA No.	DIAMETRO (CMS)	ALTURA (CMS)	AREA (CM2)	PESO (KGS)	PESO VOL. (KG/M3)	EDAD (DIAS)	CARGA (KGS)	ESFUERZO (KG/CM2)
B-1	15.3	30.5	183.85	13.160	2343.9	7	63,500	345.39
B-5	15.2	30.4	181.46	13.147	2388.2	7	64,000	352.69
B-6	15.3	30.5	183.85	13.192	2352.6	7	59,500	323.63
							X7DIAS	340.57
B-8	15.2	30.4	181.46	13.096	2374.0	14	82,250	453.27
B-16	15.2	30.4	181.46	13.123	2378.9	14	78,000	429.84
B-30	15.2	30.5	181.46	13.144	2374.9	14	75,000	413.21
							X14 DIAS	432.14
B-2	15.2	30.5	181.46	13.146	2375.3	28	95,000	523.50
B-3	15.3	30.5	183.85	13.165	2347.8	28	95,000	516.70
B-4	15.3	30.5	183.85	13.170	2348.7	28	87,500	475.90
B-7	15.3	30.5	183.85	13.185	2351.3	28	98,250	523.50
B-9	15.3	30.5	183.85	13.140	2343.3	28	92,750	504.50
B-10	15.3	30.5	183.85	13.127	2341.0	28	92,750	504.50
B-11	15.2	30.4	181.46	13.155	2384.7	28	92,500	509.80
B-12	15.3	30.5	183.85	13.027	2323.2	28	92,000	500.40
B-13	15.4	30.5	186.27	13.218	2326.6	28	97,500	523.40
B-15	15.3	30.5	183.85	13.217	2357.1	28	94,000	511.30
B-17	15.3	30.5	183.85	13.210	2355.8	28	87,000	473.20
B-18	15.3	30.5	183.85	13.233	2359.9	28	92,000	500.40
B-19	15.2	30.5	181.46	13.183	2381.9	28	97,500	537.30
B-20	15.3	30.5	181.46	13.199	2384.9	28	105,500	581.40
B-21	15.3	30.4	183.85	13.027	2330.8	28	91,250	496.30
B-22	15.3	30.3	183.85	12.991	2324.4	28	91,500	497.70
B-23	15.3	30.5	183.85	13.062	2329.4	28	92,000	500.40
B-24	15.3	30.5	183.85	13.090	2334.4	28	90,500	492.30
B-25	15.3	30.5	183.85	13.045	2326.4	28	87,500	475.90
B-27	15.4	30.4	186.27	13.307	2342.3	28	94,000	504.60
B-28	15.3	30.1	183.85	12.956	2341.2	28	88,750	482.70
B-29	15.2	30.5	181.46	13.162	2378.2	28	93,000	512.50
B-31	15.2	30.5	181.46	13.166	2378.9	28	98,000	540.10
B-32	15.2	30.5	181.46	13.215	2387.7	28	92,500	509.80
B-36	15.1	30.3	179.08	13.026	2361.3	28	92,250	515.10
B-37	15.2	30.3	181.46	13.031	2370.0	28	95,500	528.30
B-38	15.2	30.4	181.46	13.072	2369.7	28	87,750	483.60
B-40	15.2	30.4	181.46	13.140	2381.9	28	89,000	490.50
B-42	15.2	30.4	181.46	13.117	2377.8	28	88,000	484.90
B-44	15.2	30.4	181.46	13.208	2394.3	28	91,750	505.60
							X28 DIAS	506.81
B-14	15.3	30.5	183.85	13.242	2353.8	60	104,500	568.40
B-26	15.2	30.4	181.46	13.185	2390.2	60	95,250	524.91
B-46	15.3	30.5	183.85	13.127	2341.0	60	101,500	552.08
							X60 DIAS	548.46
B-33	15.1	30.3	179.08	13.105		90	115,000	X 642.18
B-34	15.2	30.3	181.46	13.198		90	107,000	589.66
B-47	15.1	30.5	179.08	13.226		90	114,500	639.38
							X90 DIAS	623.74

3.11. NSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA COMPRESION
MEZCLA "C"

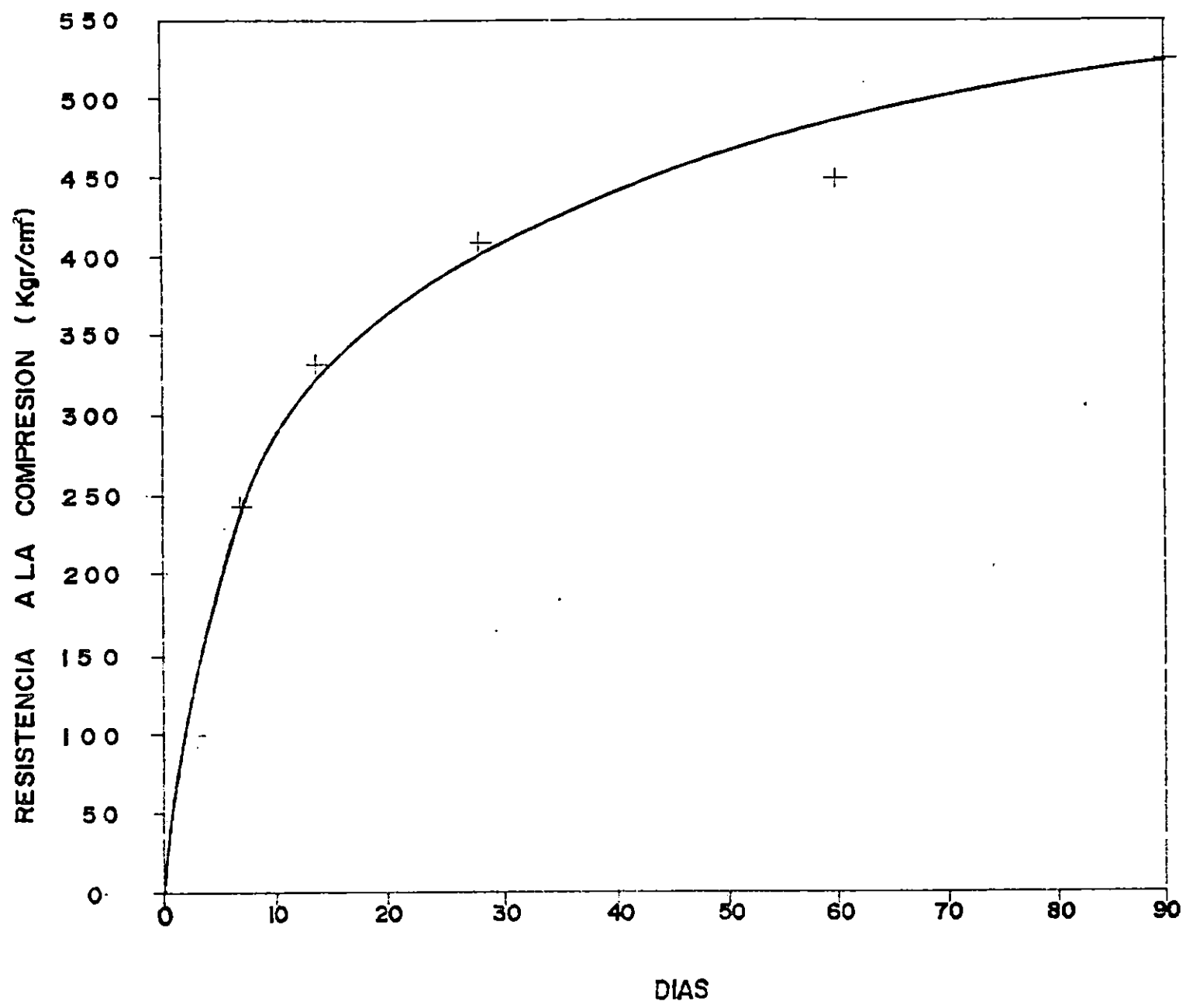
PROBETA No.	DIAMETRO (CMS)	ALTURA (CMS)	AREA (CM2)	PESO (KGS)	PESO VOL. (KG/M3)	EDAD (DIAS)	CARGA (KGS)	ESFUERZO (KG/CM2)
C-25	15.3	30.5	183.85	12.923	2304.6	7	60,250	327.71
C-26	15.2	30.4	181.46	12.815	2323.1	7	57,500	316.87
C-29	15.2	30.4	181.46	12.835	2326.7	7	61,500	338.92
							X ₇ DIAS	327.83
C-30	15.2	30.5	181.46	12.882	2327.6	14	70,500	387.14
C-31	15.2	30.4	181.46	12.735	2308.6	14	72,500	399.54
C-32	15.2	30.5	181.46	12.844	2320.7	14	81,000	446.39
							X ₁₄ DIAS	411.02
C-1	15.3	30.5	183.85	12.808	2284.1	28	85,500	465.05
C-2	15.2	30.4	181.46	12.799	2320.2	28	72,500	398.99
C-3	15.2	30.4	181.46	12.825	2324.9	28	73,000	402.99
C-4	15.2	30.5	181.46	12.839	2319.8	28	81,250	447.76
C-5	15.2	30.2	181.46	12.734	2323.7	28	82,500	454.75
C-6	15.3	30.4	183.85	12.800	2290.2	28	82,250	463.69
C-7	15.2	30.4	181.46	12.833	2326.3	28	88,500	487.71
C-8	15.2	30.4	181.46	12.910	2340.3	28	78,250	431.22
C-9	15.2	30.4	181.46	12.798	2319.9	28	80,500	443.62
C-10	15.2	30.5	181.46	12.839	2319.8	28	73,500	427.09
C-11	15.2	30.4	181.46	12.860	2331.2	28	81,250	447.76
C-12	15.2	30.4	181.46	12.865	2332.1	28	85,750	472.56
C-13	15.3	30.6	183.85	12.875	2288.6	28	73,250	398.42
C-14	15.3	30.5	183.85	12.815	2285.4	28	76,500	416.10
C-15	15.2	30.5	181.46	12.827	2317.6	28	74,250	409.18
C-16	15.2	30.5	181.46	12.871	2325.6	28	71,750	395.40
C-17	15.4	30.5	186.27	13.016	2291.1	28	85,250	457.67
C-18	15.2	30.5	181.46	12.928	2335.9	28	88,750	489.09
C-19	15.3	30.5	183.85	12.800	2282.7	28	83,500	454.17
C-20	15.3	30.5	183.85	12.735	2271.1	28	79,250	431.06
C-21	15.3	30.5	183.85	12.880	2295.9	28	76,250	414.74
C-22	15.3	30.4	183.85	12.685	2269.6	28	85,000	462.33
C-23	15.3	30.5	183.85	12.833	2288.6	28	79,000	429.70
C-33	15.2	30.6	181.46	12.898	2322.8	28	78,000	429.95
C-37	15.3	30.6	183.85	12.868	2287.3	28	73,250	398.42
C-39	15.3	30.5	183.85	12.887	2295.2	28	78,250	425.92
C-40	15.2	30.6	181.46	12.855	2315.1	28	95,500	526.29
C-41	15.3	30.5	183.85	12.804	2294.1	28	73,250	398.42
C-42	15.3	30.5	183.85	12.802	2283.0	28	70,000	390.75
C-44	15.2	30.5	181.46	12.830	2318.2	28	79,000	435.76
							X ₂₈ DIAS	438.51
C-24	15.2	30.4	181.46	12.872	2333.4	60	77,500	427.09
C-27	15.2	30.1	181.46	12.620	2310.5	60	85,750	472.56
C-28	15.2	30.2	181.46	12.695	2316.7	60	111,250	613.08
							X ₆₀ DIAS	504.24
C-34	15.2	30.5	181.46	12.868		90	87,500	482.20
C-35	15.2	30.4	181.46	12.783		90	105,750	582.73
C-45	15.2	30.5	181.46	12.820		90	91,500	504.25
							X ₉₀ DIAS	523.08

MEZCLA "A"



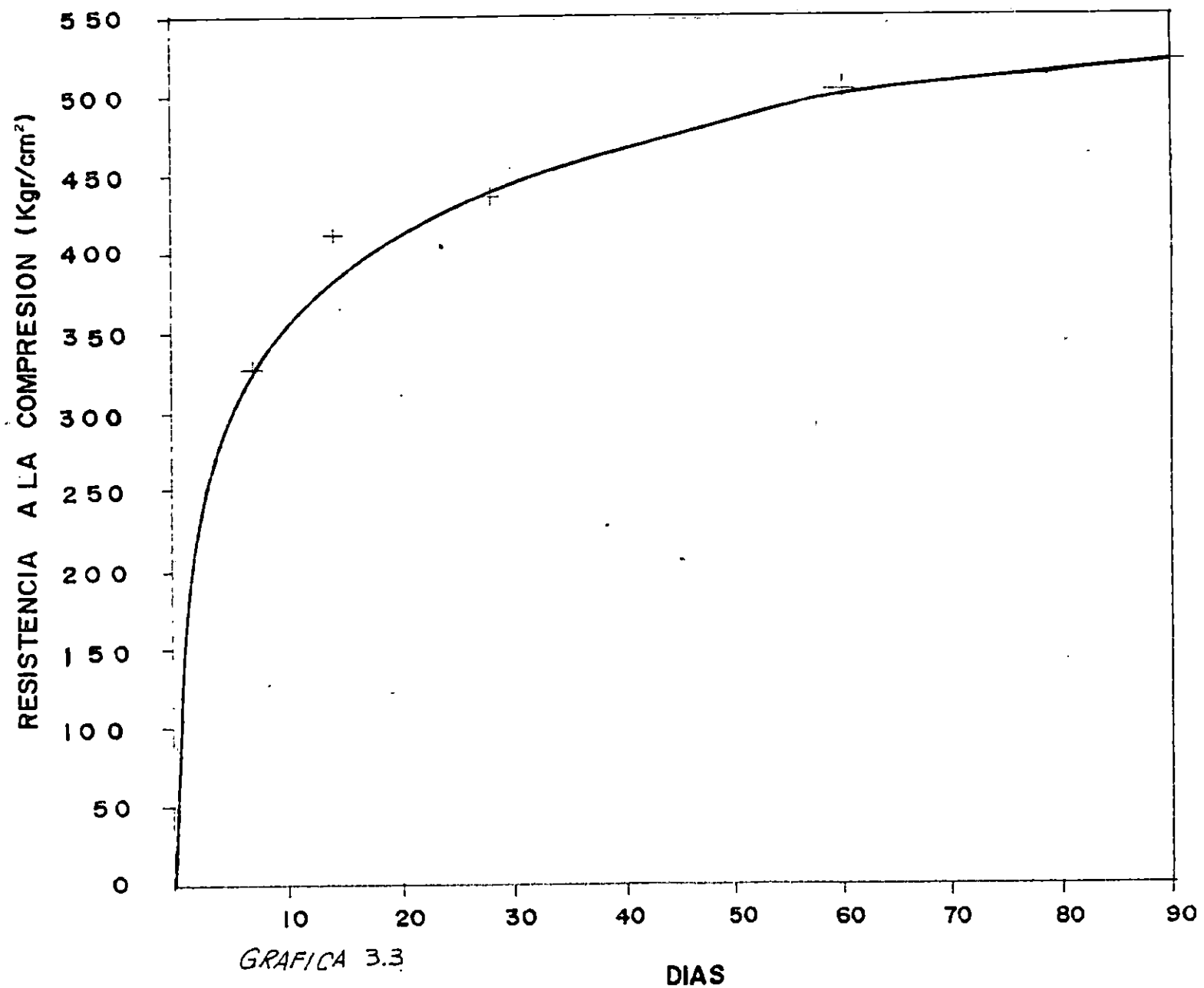
GRAFICA 3.1

MEZCLA "B"



GRAFICA 3.2

MEZCLA "C"



GRAFICA 3.3

3.4.4. PRUEBA DE RESISTENCIA AL ATAQUE DE AGENTES QUIMICOS

Esta prueba consistió en probar la resistencia del concreto endurecido al ataque químico por ácidos orgánicos y sulfatos como una forma de evaluar la durabilidad de éste. Los ácidos y sulfatos de interés que utilizan para la prueba son los siguientes:

Acido láctico ($C_3H_5O_3$)

Acido acético (CH_3-COOH)

Sulfato de sodio (Na_2SO_4)

Sulfato de magnesio ($MgSO_4$)

Es necesario apuntar que los sulfatos a ensayar son los que se encuentran con mayor frecuencia en el suelo disueltos en el agua subterránea, los cuales pueden hacer contacto con el concreto. La prueba se realizó de la misma manera que en la Primera Etapa de esta Investigación; se ensayaron cilindros de concreto endurecido de 10 cms x 20 cms para los tres mezclas (A, B y C) a la edad de 60 días. La solución para los ácidos estuvo compuesta por 9 partes de agua y una parte de ácido (10% de ácido) y para los sulfatos la solución fué del 10% de sulfato en peso.

Los especímenes fueron sometidos a 12 ciclos de prueba. Cada ciclo consistie en sumergir los cilindros durante 24 ± 0.5 horas en una solución de ácido o sulfato correspondiente y luego se pusieron a secado al medio ambiente durante el mismo período que estuvieron inmersos en las soluciones antes mencionadas, a excepción de los especímenes sumergidos en ácido láctico que fueron expuestos a secado por períodos mayores o en los fines de semana en

que las tres mezclas fueron sumergidas o expuestas a secado, según el caso a periodos mayores que para los días de semana.

Después de haber sido secado los cilindros según el proceso antes descrito, se procedió a raspar con un cepillos de alambre la pasta deteriorada por la acción química del ácido en el cemento (para el caso de los ácidos); luego se pesaron los cilindros en cada ciclo, determinando de esta manera la pérdida acumulada del peso en porcentaje, con relación al peso inicial del espécimen antes de ser sometido a la solución. Para los sulfatos se realizó el mismo proceso con la diferencia que no se observó desgaste físico.

En las FIGS. 3.5 y 3.6 pueden observarse los especímenes de concreto de 100 mm x 200 mm en el ciclo de secado.

Los resultados se muestran en las Tablas: 3.12 a 3.14 y en las Gráficas 3.4 a 3.6. de las págs. 156 - 161

FIG. 3.5

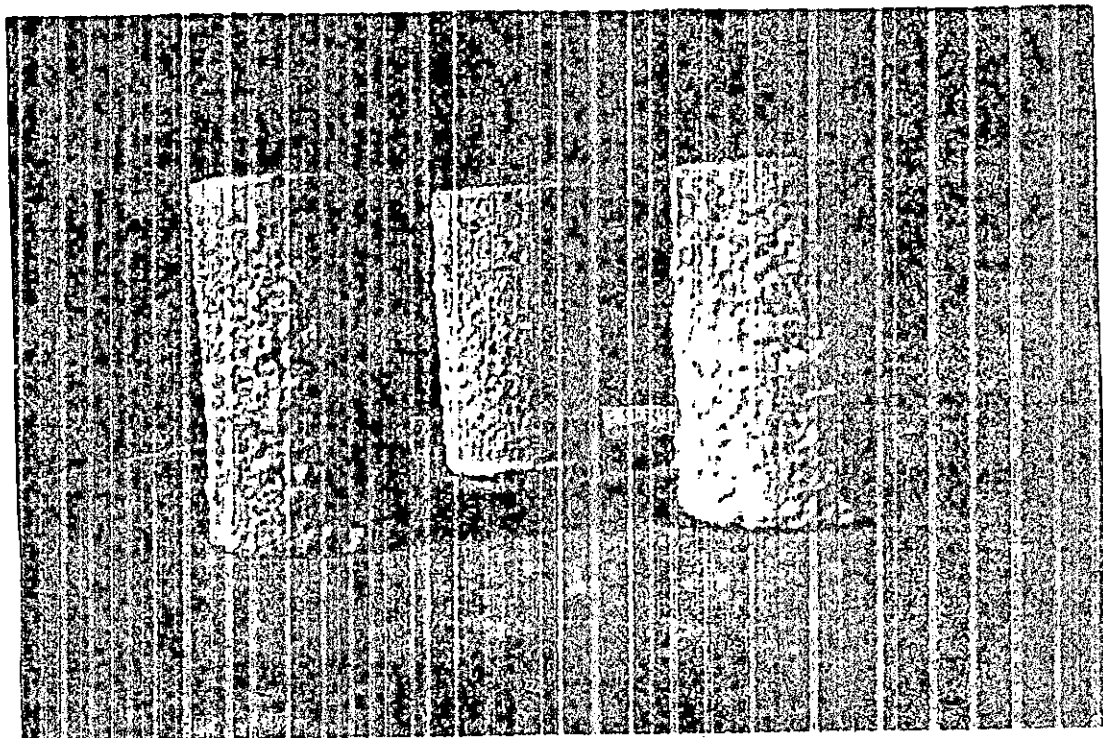
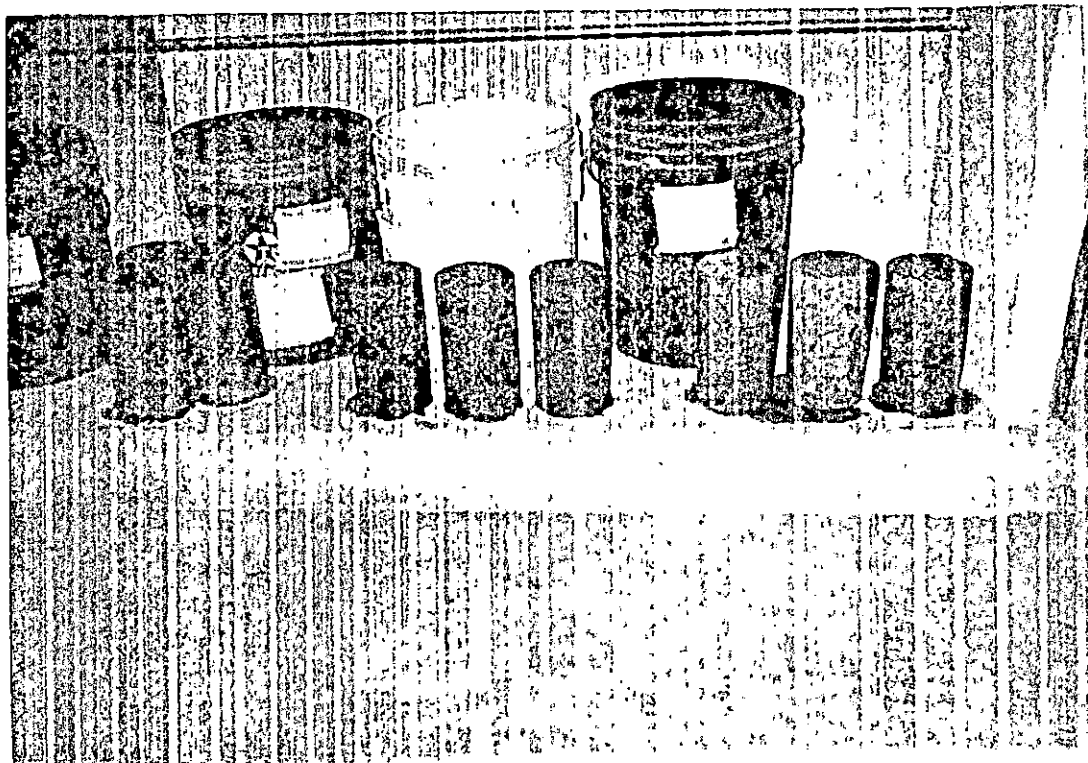


FIG. 3.6



Las fotografías muestran los efectos del ataque químico provocado por las sustancias agresivas que deterioran el concreto endurecido

TABLA 3.12 PERDIDA PORCENTUAL EN PESO POR CICLOS

MEZCLA "A"

SOLUCION	CICLOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ACIDO ACETICO		2.97	4.25	6.79	7.64	7.95	8.40	8.66	8.95	9.33	9.68	10.16	10.16
		3.40	4.64	7.62	7.91	8.19	8.31	9.03	9.19	9.60	9.86	10.34	10.34
	PROMEDIO	3.38	4.70	7.67	8.75	9.04	9.57	10.07	10.31	11.27	11.51	11.99	11.99
ACIDO LACTICO		2.70	3.59	3.74	3.74	3.81	4.15	4.39	4.61	4.83	5.07	5.19	5.19
		2.43	3.60	3.99	4.32	4.35	4.80	4.92	4.97	4.97	5.02	5.38	5.38
	PROMEDIO	2.48	3.49	3.75	3.85	3.87	4.12	4.33	4.69	4.74	4.81	4.81	4.93
SULFATO DE MAGNESIO		2.54	3.59	3.83	3.97	4.01	4.36	4.55	4.76	4.85	4.97	5.13	5.17
		0.07	0.12	0.27	0.34	0.34	0.34	0.34	0.43	0.56	0.56	0.56	0.65
	PROMEDIO	0.02	0.09	0.26	0.31	0.34	0.34	0.34	0.42	0.53	0.53	0.53	0.62
SULFATO DE SODIO		0.10	0.10	0.12	0.14	0.24	0.29	0.38	0.38	0.38	0.43	0.43	0.50
		0.02	0.07	0.12	0.17	0.17	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.38
	PROMEDIO	0.15	0.17	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.41
PROMEDIO	0.09	0.11	0.18	0.21	0.24	0.26	0.29	0.29	0.29	0.29	0.31	0.31	0.43

TABLA 3.13 PERDIDA PORCENTUAL EN PESO POR CICLOS

MEZCLA "B"

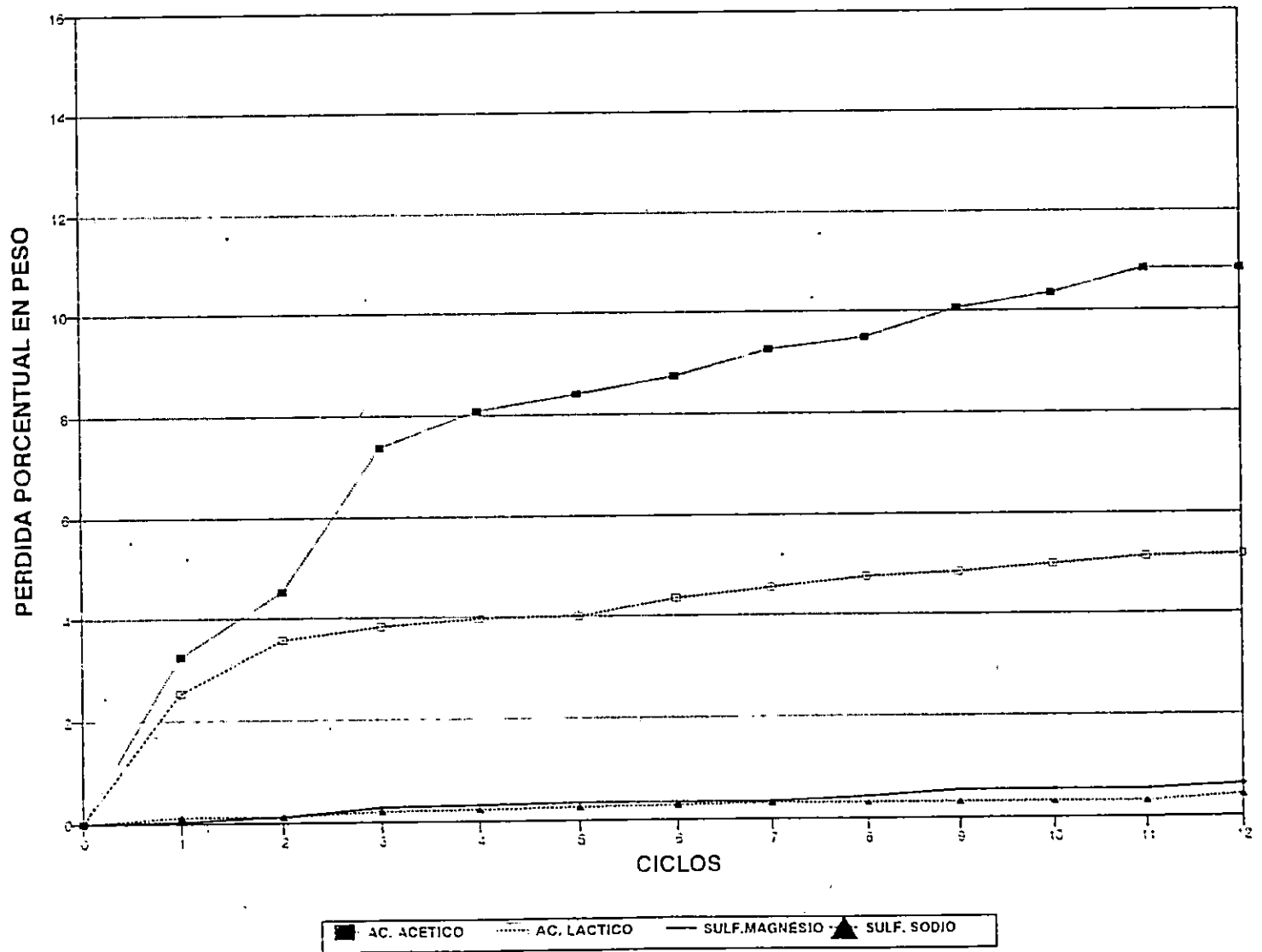
SOLUCION	CICLOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		ACIDO ACETICO	2.52	4.11	5.68	7.20	7.92	8.27	8.70	9.44	9.60	9.65	9.89	9.89
	2.55	4.38	6.00	7.23	8.05	8.17	8.69	9.45	9.48	9.52	9.64	9.64	
	2.30	4.27	5.91	6.87	8.00	8.14	8.61	9.34	9.48	9.48	9.48	9.55	
PROMEDIO	2.46	4.25	5.86	7.10	7.99	8.19	8.67	9.41	9.52	9.55	9.67	9.69	
ACIDO LACTICO	2.11	2.42	3.61	4.54	4.61	4.66	4.71	5.18	5.23	5.23	5.23	5.37	
	1.78	2.29	3.79	4.52	4.76	4.76	4.76	4.98	5.02	5.02	5.05	5.05	
	1.92	2.21	3.66	4.52	4.63	4.71	4.71	5.04	5.09	5.09	5.09	5.13	
	PROMEDIO	1.94	2.31	3.69	4.53	4.67	4.71	4.71	5.07	5.11	5.11	5.12	5.18
SULFATO DE MAGNESIO	0.36	0.38	0.38	0.17	0.31	0.31	0.29	0.36	0.38	0.43	0.41	0.36	
	0.26	0.24	0.26	0.33	0.26	0.14	0.14	0.21	0.33	0.33	0.28	0.21	
	0.43	0.34	0.34	0.34	0.34	0.31	0.31	0.31	0.31	0.34	0.34	0.48	
	PROMEDIO	0.35	0.32	0.33	0.28	0.30	0.25	0.25	0.29	0.34	0.37	0.34	0.35
SULFATO DE SODIO	0.40	0.52	0.61	0.47	0.54	0.54	0.49	0.49	0.54	0.56	0.56	0.61	
	0.36	0.36	0.48	0.48	0.45	0.45	0.38	0.43	0.45	0.55	0.59	0.59	
	0.19	0.19	0.19	0.29	0.43	0.41	0.36	0.29	0.53	0.53	0.58	0.66	
	PROMEDIO	0.32	0.36	0.43	0.41	0.47	0.47	0.41	0.41	0.51	0.55	0.58	0.62

TABLA 3.14 PERDIDA PORCENTUAL EN PESO POR CICLOS

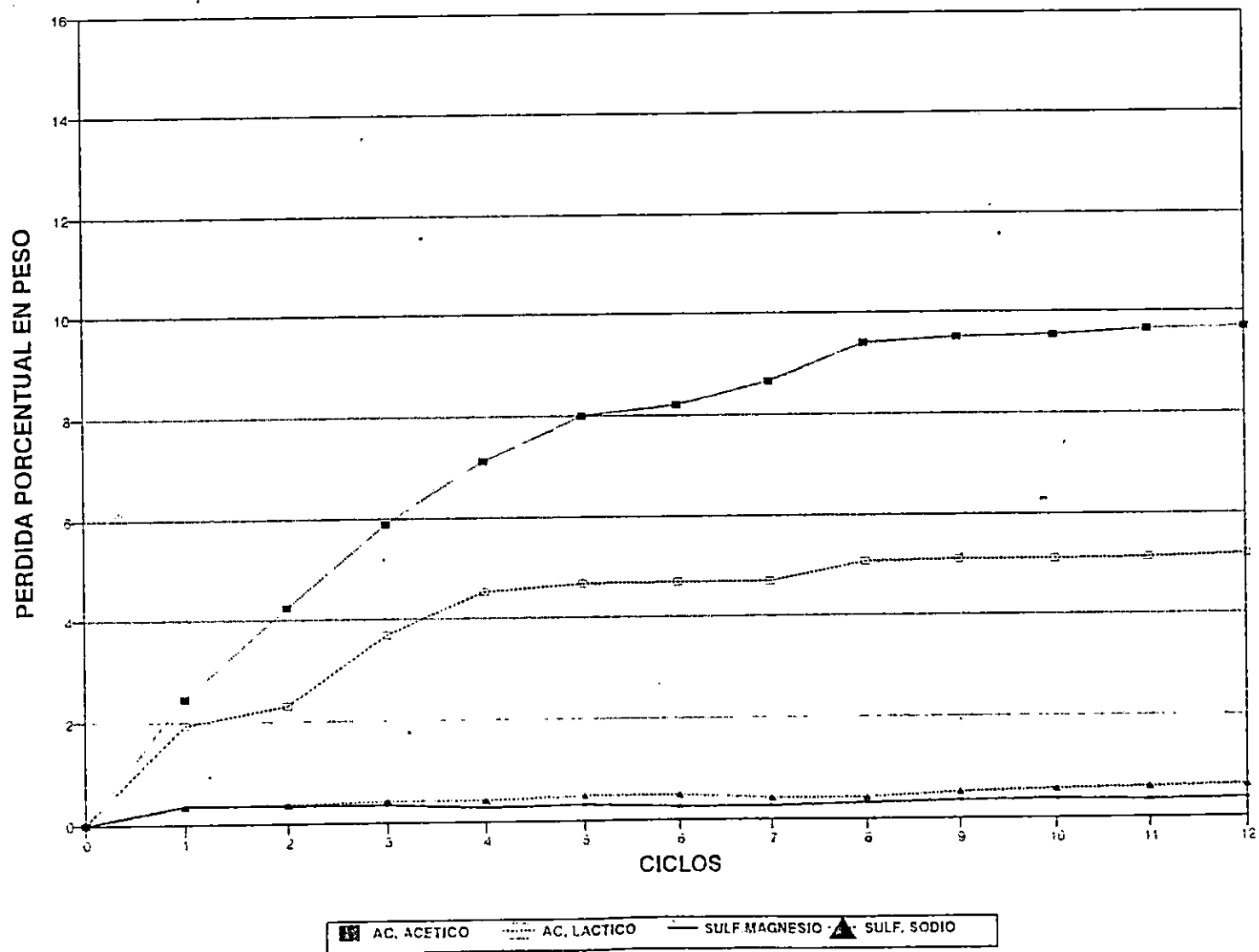
MEZCLA "C"

CICLOS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SOLUCION													
ACIDO ACETICO		2.63	4.94	7.13	7.74	8.54	8.84	9.93	9.93	10.30	11.03	11.15	11.20
		2.63	4.47	7.00	8.07	8.64	8.75	9.87	9.90	10.29	10.85	10.99	10.99
		2.35	4.31	6.98	7.88	8.37	8.49	9.45	9.45	9.94	10.30	10.43	10.55
PROMEDIO		2.54	4.57	7.04	7.90	8.53	8.69	9.75	9.76	10.18	10.73	10.86	10.91
ACIDO LACTICO		2.12	3.77	5.55	5.70	5.77	5.79	5.21	5.19	5.26	5.45	5.45	5.45
		1.03	1.40	2.17	2.36	2.41	2.41	4.95	5.17	5.34	5.81	5.81	5.81
		1.38	2.74	4.34	4.40	4.57	4.57	4.57	4.61	4.66	4.71	4.71	4.71
PROMEDIO		1.51	2.64	4.03	4.15	4.25	4.26	4.91	4.99	5.09	5.32	5.32	5.32
SULFATO DE MAGNESIO		0.17	0.31	0.31	0.29	0.24	0.19	0.31	0.39	0.61	0.53	0.53	0.49
		0.20	.022	.032	0.49	0.39	0.34	0.44	0.59	0.73	0.66	0.59	0.54
		0.10	0.27	0.22	0.19	0.12	0.15	0.19	0.32	0.32	0.29	0.32	0.29
PROMEDIO		0.16	0.27	0.28	0.32	0.25	0.23	0.31	0.43	0.55	0.49	0.48	0.44
SULFATO DE SODIO		0.05	0.10	0.12	0.25	0.29	0.12	0.29	0.54	0.51	0.39	0.39	0.29
		0.27	0.27	0.37	0.39	0.34	0.17	0.32	0.49	0.52	0.52	0.52	0.52
		0.12	0.20	0.42	0.32	0.37	0.12	0.27	0.39	0.42	0.47	0.47	0.47
PROMEDIO		0.15	0.19	0.30	0.32	0.33	0.14	0.29	0.47	0.48	0.46	0.46	0.46

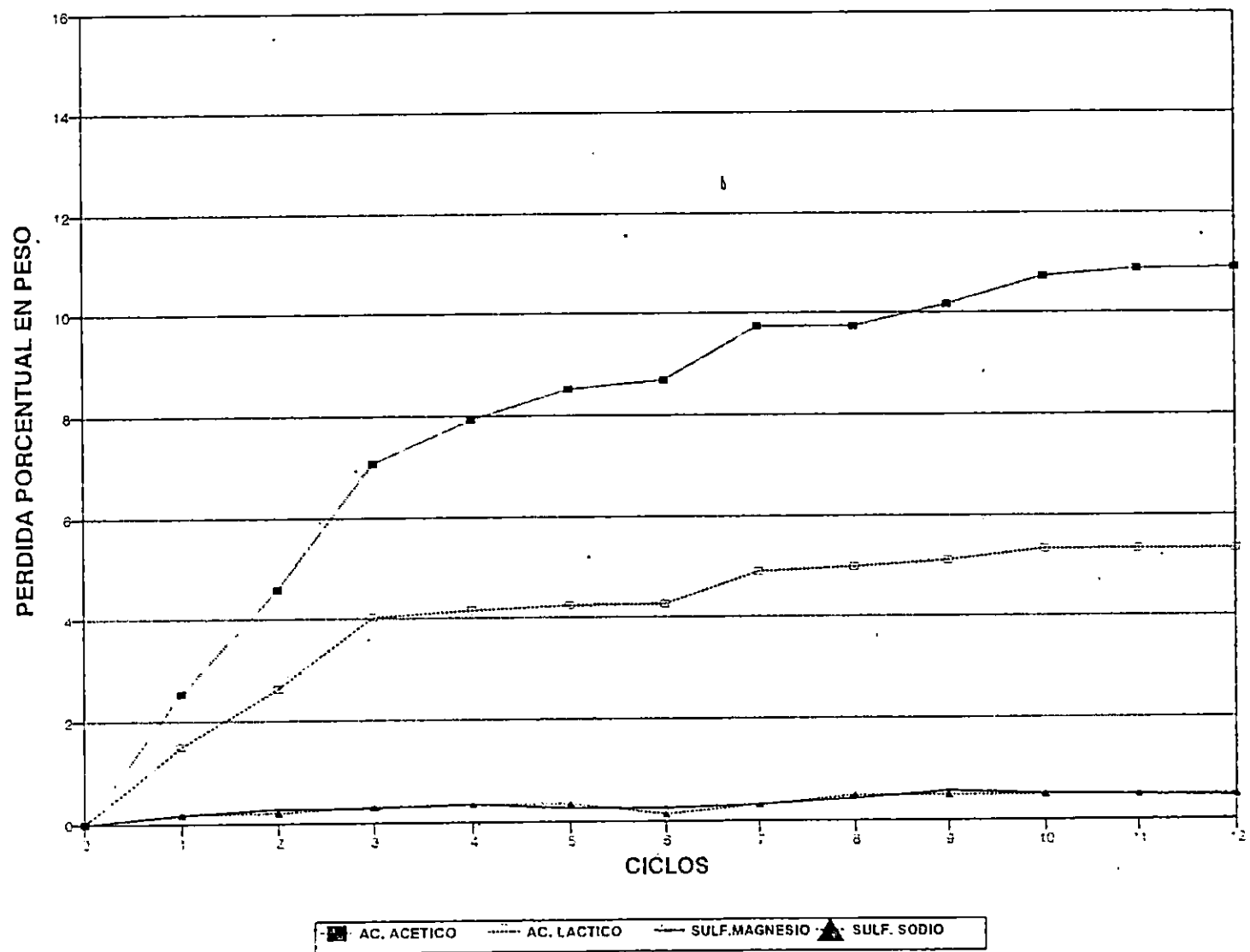
GRAFICA 3.4 PERDIDA PORCENTUAL EN PESO POR CICLOS
MEZCLA "A"



GRAFICA 3.5 PERDIDA PORCENTUAL EN PESO POR CICLOS
MEZCLA "B"



GR A FICA 3.6 PERDIDA PORCENTUAL EN PESO POR CICLOS
MEZCLA "C"



CAPITULO IV

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

GENERALIDADES

En esta sección se presenta un análisis estadístico de los resultados de la prueba de resistencia a la compresión de los CGC, un análisis de los componentes del concreto, así como al concreto fresco y endurecido, resistencia al ataque químico de los ácidos orgánicos y sulfatos a los que fué sometido el CGC.

El análisis estadístico se realizó con 30 especímenes de cada mezcla a los 28 días y 3 especímenes para las otras edades de prueba. Para el primer caso se utiliza como herramienta las curvas Normales de Frecuencia y en el segundo caso los Factores Inherentes de prueba.

4.1. COMPONENTES

El análisis de los componentes del CGC se basa en las diferentes pruebas de laboratorio realizadas a éstos para el diseño de mezclas, o a la información retomada como en el caso del cemento, la microsilica y el superplastificante. Este se realiza en los siguientes apartados.

4.1.1. CEMENTO

El tipo de cemento utilizado (Tipo I (PM)), no es el óptimo para la fabricación de CGC; sin embargo, tanto en la primera como en la presente investigación se han realizado CGC con este tipo de cemento, obteniéndose resultados satisfactorios; ya que el tipo de cemento especificado para este tipo de concreto debe tener un contenido mayor o igual a 90% de clinker y 6% de puzolana como máximo; además de un bajo contenido de aluminato tricálcico (C₃A); como ya se mencionó en el Capítulo II (Ver Apartado 2.4.1.). Es necesario además hacer mención que en la reparación del vertedero de la Presa "15 de Septiembre", el cemento utilizado fué Tipo I de ASTM importado para la reparación antes mencionada, y la resistencia a la compresión alcanzada fué de 750 Kg/cm².

Por otra parte, el cemento utilizado en esta investigación tiene una buena resistencia al ataque de los sulfatos sobrepasando los límites clasificados como muy severos, disminuyendo la fisuración del concreto, ésto se analizará en el apartado 4.4.2.

4.1.2. AGREGADOS FINOS

La arena utilizada en esta investigación como ya se mencionó en el Capítulo III, es la que arrojó los mejores resultados; la cual es proveniente del Río Jiboa. En cuanto a las impurezas orgánicas, los resultados fueron los mismos que los obtenidos en la primera etapa de esta investigación, el color observado en la prueba fue más claro que el color de referencia N^o. 1, según tabla de colores de Gardner.

Por otra parte, el análisis granulométrico de la arena analizada generó una curva de granulométrica muy similar a la del primer estudio, dentro de los límites especificados por la norma ASTM C-33 (Ver Tablas y Gráficas 3.1 en páginas No. 100-102), por otra parte el Módulo de Finura (M.F.) resultó ser un poco mayor, acercándose más el valor recomendado por algunos investigadores; los cuales recomiendan un valor próximo a 3.0 para este tipo de concreto; debido a la mayor cantidad de finos adicionados tales como mayor cantidad de cemento y adiciones como la microsíllica.

TABLA 4.1.

ENSAYE ARENA	MODULO FINURA (M.F.)	ABSORCION (%)	GRAVEDAD ESPECIFICA (GE)	CONTENIDO IMPUREZAS ORGANICAS
Primera Investigación	2.77	3.72	2.31	Aceptable
Investigación Actual	2.82	3.49	2.59	Aceptable

Como puede observarse en la Tabla 4.1., en la presente investigación la absorción de la arena es menor y la gravedad específica mayor, la primera indica que la arena utilizada tiene un menor contenido de partículas ligeras; las cuales generan una menor demanda de agua en la mezcla y un aumento de las resistencias mecánicas. La segunda (GE) incide en un contenido ligeramente menor de arena en la dosificación de la mezcla. Es necesario recordar que las diferencias en el agregado fino mostradas en la Tabla 4.1. se deben al arrastre de las partículas del río; debido a la época en que se efectuó el muestreo; el cual se realizó en Diciembre de 1994.

4.1.3. AGREGADO GRUESO

El agregado grueso utilizado en las mezclas se tamizó de tal manera que su tamaño máximo fué de 19 mm (se utilizó la que pasó esta malla), el cual es uno de los tamaños recomendados para el tipo de concreto en estudio (Ver Apartado 2.4.2.1., pag. No. 30). Estos agregados contienen cierto contenido de finos y partículas planas y alargadas, con un mínimo de partículas que pasan la malla No. 4 y un alto contenido de mayor tamaño (retenidas en la malla de 1/2", ver Tablas y Gráficas No. 3.4 en Pag. No. 111-113); por lo que no cumple con lo especificado en la Norma ASTM C-33. Esta granulometría no fué corregida para la elaboración de mezclas; ya que se trató de que se mantuvieran las condiciones iniciales de la pedrera, de donde se extrajo el agregado.

Al igual que en la primera etapa de esta investigación, el agregado fué lavado y luego secado a temperatura del medio ambiente, para la elaboración de mezclas y mejorar la adherencia pasta-agregado.

Para la dosificación de las mezclas no se utilizó el módulo de finura, aumentándose el agregado grueso en un porcentaje de 6.5% (a $0.66 \text{ m}^3/\text{m}^3$) para diseño de mezclas con relación al especificado en el Comité ACI-211.1-87 para CRN; con el propósito de reducir la retracción, disminuir la cantidad de pasta y aumentar su resistencia; aunque al hacer ésto se disminuye la trabajabilidad de los CGC, lo que como puede observarse, se aumentó el agua ligeramente en la mezcla, aumentando la relación A/C a 0.30 con respecto a la primera investigación.

TABLA 4.2.

ENSAYE	ABSORCIÓN (%)	GRAVEDAD ESPECIFICA (GE)	PESO VOLUMETRICO PVV (KG/CM3)	RESISTENCIA AL DESGASTE (%)
AGREGADO				
Primera Investigación	2.36	2.64	1555.8	19.54
Investigación Actual	1.67	2.60	1429.3	18.41

Como puede observarse en la Tabla 4.2., el peso volumétrico varillado resultó ser menor (8.85%) en esta etapa de la investigación; ésto se debe a que el agregado grueso no quedó bien graduado al ser tamizado; además de tener un alto contenido de partículas de mayor tamaño y por ende mayores vacíos. Por otra parte al tener un agregado más resistente que el de la Primera Investigación y un contenido de partículas de mayor tamaño, da como resultado un menor porcentaje de absorción.

4.1.4. ADITIVOS

El aditivo superplastificante utilizado en este estudio es el mismo que se utilizó en la primera etapa del mismo; sin embargo, se aumentó la dosificación en la mezcla "B" al 2% en peso del cemento (primera etapa de este estudio 1.5%) y en la mezcla "C" la cual contiene microsílca a: 2.5%; por otra parte los valores de la relación A/C fueron 0.30 para la primera y 0.33 para la segunda; no presentando las mezclas problemas de trabajabilidad, ni segregación.

La microsilica utilizada en la Primera Investigación fue de la marca "SIKA" conocida como Sikafume cambiada por microsilica de marca "GRACE" conocida comercialmente con el nombre de: "FORCE 10,000".

4.2. MEZCLAS DE PRUEBA

4.2.1. CONCRETO FRESCO

Los factores a controlar y analizar en el concreto fresco para obtener alta resistencia en el concreto endurecido son muchos; para el presente trabajo se tiene que:

- Los concretos conteniendo microsilica, eliminan casi por completo el sangrado, lo que genera a la superficie susceptible a las contracciones, por tanto se debe aplicar un oportuno curado. En el caso de climas calientes, el uso de hielo hace bajar la temperatura del concreto fresco; pero se debe considerar la relación A/C en el diseño de la mezcla.

- Es importante observar que la mezcla "C" con respecto a las mezclas "A" y "B" presentó un color gris oscuro, tanto en el concreto fresco como endurecido; esto se debió básicamente a la adición de microsilica.
Cabe agregar que la coloración oscura puede tener una mayor o menor intensidad, dependiendo del grado de procesamiento de la microsilica y del porcentaje en peso del cemento incluido en el diseño de mezcla.

- El revenimiento de la mezcla "C" fue menor que el revenimiento de la mezcla "B", a pesar de que en la primera se usó una relación $A/C=0.33$ y 2.5% de superplastificante, esto se debe a que parte del agua es absorbida por la microsilica: ya que ésta, tiene una mayor superficie específica.

La Tabla 4.3. muestra para las tres mezclas, las diferentes relaciones A/C, dosificaciones de superplastificante, microsilica y revenimiento.

TABLA 4.3.

CONCEPTO	MEZCLA		
	"A"	"B"	"C"
Relación Agua/Cemento (A/C)	0.30	0.30	0.33
Superplastificante	--	2%	2.5%
Microsílica (MS)	--	--	10%
Revenimiento* (cms)	5.5	12.5	9.5

* Estos fueron los revenimientos que más se repitieron en las mezclas.

4.2.2. MANEJO Y COLOCACION

- Los tiempos de revoltura de la concretera en la mezcla "C" a velocidad de mezclado, tuvo que incrementarse en un 10%, respecto de la mezcla "B" y 20% respecto de la mezcla "A".
- En el caso de la mezcla "C", presentó una manejabilidad ligeramente cohesiva comparada con las mezclas "A" y "B", debido al contenido de microsilica.

- La consolidación se realizó según norma ASTM (C-192), usando vibrador, ya que este tipo de concreto se homogeniza adecuadamente por medio de la aplicación de energía mecánica, lo cual no se consigue con el método de varillado.

4.2.3. CONTROL

El control de calidad de los materiales, de la fabricación de la mezcla de concreto y de los ensayos realizados es de vital importancia para obtener resultados satisfactorios.

- En lo relativo al diseño de cada mezcla se calculó los contenidos de humedad antes de elaborar cada batchada con el objeto de no introducir variación en el agua previamente diseñada.
- En las tres mezclas el revenimiento fué medido con el cono de Abrams (ASTM C-143). Sin embargo, como se ha mencionado (CAPITULO III, Pag. 137) ésta prueba no refleja realmente su fluidez, cuando se trata de concretos que contienen microsilica, por lo tanto al aplicársele energía mecánica se logra una mejor fluidez.
- Otro factor muy importante que se tomó en cuenta fué la consolidación del CGC con vibrador mecánico.
- El curado con las bolsas de papel húmedo y las bolsas plásticas herméticamente cerradas fué una actividad que se le dió especial cuidado para evitar la pérdida de agua a través de la superficie superior.

- En cuanto al cabeceo de los especímenes de concreto mediante las tres formas (Capítulo III, Pag. 144) utilizadas, se tuvo especial cuidado con la nivelación de la superficie superior de cada espécimen.

4.3. CONCRETO ENDURECIDO

- El curado de los especímenes de concreto es preferible que se realice usando bolsas plásticas totalmente herméticas para evitar pérdidas del agua de mezcla.
- De las tres formas en que se efectuó el cabeceo de los especímenes (Ver Capítulo III, pag. 143) se realizó una comparación de los resultados obtenidos de la ruptura de cilindros a compresión a los 90 días, tres de ellos fueron cabeceados con material de alta resistencia y la otra terna fue cabeceada usando la máquina pulidora, ambos a la misma edad y en estos últimos se notó que su resistencia a la compresión sufrió un decremento del 22%. Por tanto es recomendable, que sean cabeceados con material de alta resistencia.
- En esta investigación se tiene que con una adición de microsilica (10% en peso del cemento) y superplastificante (de 2.0% a 2.5%), se puede fabricar concreto de gran comportamiento con un factor de relación Agua/Cemento que varió de 0.30 a 0.33 con muy buena trabajabilidad; se obtuvo una resistencia máxima a la compresión de 613 Kg/cm². Y únicamente con superplastificante se obtuvo una resistencia máxima de 642 Kg/cm² a la edad de 60 y 90 días respectivamente.

- Se estableció una comparación entre los pesos volumétricos del concreto fresco (teórico) y del concreto endurecido promediados a la edad de 28 días para obtener el porcentaje de variación; tales resultados se muestran en la Tabla 4.4.

TABLA 4.4.

MEZCLA	PESO VOLUMETRICO DEL CONCRETO		
	FRESCO (TEORICO)	ENDURECIDO	% DE VARIACION
A	2369.29	2339.25	1.26
B	2371.60	2357.01	0.62
C	2341.84	2306.81	1.5

4.3.1. RESISTENCIA A LA COMPRESION

La Tabla 4.5. de la página 173 muestra los valores de resistencia a compresión máxima alcanzada por las diferentes mezclas, así como su correspondiente edad de ruptura.

TABLA 4.5.

MEZCLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION MAXIMA (Kg/cm ²)		EDAD DE RUPTURA (DIAS)
	PROMEDIO	MAXIMA	
A	496.97	512.65	90
B	623.74	642.18	90
C	504.24	613.08	60

4.3.2. PROYECCIONES EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO.

En los CGC, las ganancias de resistencia a la compresión con edades posteriores a los 28 días es notable, por lo que la resistencia final del concreto debería tomarse a los 90 días, o en su defecto a los 60 días, y no a los 28 días como se especifica normalmente para la CRN.

Los factores de proyección de la resistencia final promedio a los 90 días para los tres tipos diferentes de mezclas analizadas en esta investigación se presenta a continuación:

MEZCLA "A"

Relación A/C: 0.30

Aditivo : 0%

Adición : 0%

Resistencia Promedio a los 90 días: 496.97 Kg/cm²

EDAD DE RUPTURA (DIAS)	FACTOR DE PROYECCION A LOS 90 DIAS
7	0.65
14	0.73
28	0.85
60	0.97
90	1.00

MEZCLA "B"

Relación A/C: 0.30

Aditivo : 2.0% (superplastificante) "Sikament"

Adición : 0.0%

Resistencia Promedio a los 90 días: 623.74 Kg/cm²

EDAD DE RUPTURA (DIAS)	FACTOR DE PROYECCION A LOS 90 DIAS
7	0.55
14	0.69
28	0.81
60	0.88
90	1.00

MEZCLA "C"

Relación A/C: 0.33

Aditivo : 2.5% (superplastificante) "Sikament"

Adición : 10.0% (microsilica "Force 10,000"-GRACE)

Resistencia Promedio a los 90 días: 523.10 Kg/cm²

EDAD DE RUPTURA (DIAS)	FACTOR DE PROYECCION A LOS 90 DIAS
7	0.63
14	0.79
28	0.83
60	0.96
90	1.00

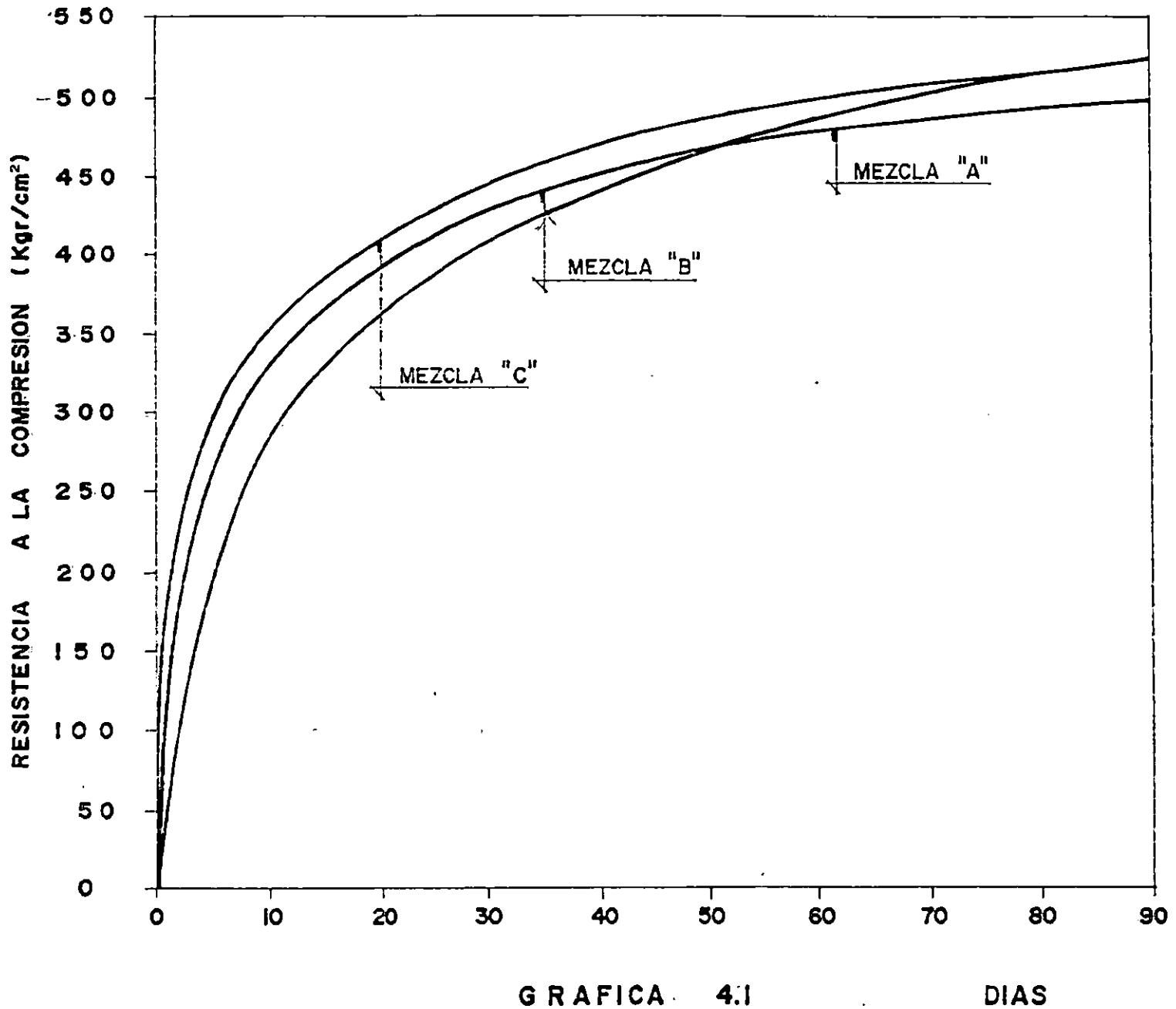
La Tabla 4.6. muestra la ganancia de resistencia de las distintas mezclas con referencia a la mezcla de control "A", expresada como porcentaje a diferentes edades de ensayo.

TABLA 4.6.

MEZCLA	EDAD DE PRUEBA (DIAS)				
	7	14	28	60	90
A	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
B	105.4	119.8	120.6	113.8	125.6
C	101.4	113.9	103.9	104.7	105.3

Como puede observarse en la Tabla 4.6. la mezcla que contiene microsilica (Mezcla C), generó resistencias moderadamente mayores que la mezcla de control A; pero comparándolas con la mezcla que contiene superplastificante (Mezcla B) son mucho menores.

El siguiente Gráfico 4.1. muestra el desarrollo de las curvas Edad-Resistencia promedio de las mezclas comparandolas contra la mezcla de control A. Al observar las distintas curvas Edad-Resistencia, puede notarse claramente que las mezclas que contiene aditivo y/o adición, con las que obtuvieron mayores resistencias.



G R A F I C A . 4 . 1

D I A S

4.3.2.1. ANALISIS ESTADISTICO DEL CONCRETO A COMPRESION.

Para realizar un análisis de los resultados de la resistencia a la compresión del concreto, se fabricó una cantidad suficiente de especímenes a fin de poder tratarlos estadísticamente para conocer valores promedios, desviaciones estandar y coeficientes de variación.

El análisis estadístico a la compresión del concreto para los tres tipos diferentes de mezclas se presentan a continuación.

Para el análisis estadístico se calcularan las siguientes funciones:

1. Resistencia promedio de todas las pruebas individuales (\bar{X})
2. La desviación Estandar (σ)
3. El coeficiente de variación (V)
4. En Intervalo (R)

1. Resistencia Promedio (\bar{X})

Para el calculo de la Resistencia Promedio se utilizó:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$$

Donde:

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ = resultados de la Resistencia de las pruebas individuales

n = número total de pruebas individuales

2. Desviación Estandar (σ)

Es la medida de dispersión más conocida y es utilizada en la Curva de Distribución de Frecuencia de los datos de resistencia. La ecuación utilizada en esta investigación es:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(X_1 - X)^2 + (X_2 - X)^2 + \dots + (X_n - X)^2}{(n - 1)}}$$

3. Coeficiente de Variación (V)

El coeficiente de variación es la desviación estandar como un porcentaje de la resistencia promedio, la ecuación utilizada es:

$$V = \frac{\sigma}{X} \times 100$$

4. Intervalo (R)

El intervalo dentro de una prueba es útil en el cálculo de la Desviación Estandar inherente de la prueba o sea la variación inherente a la prueba. El intervalo (R) se obtiene restando el mayor valor de resistencia del conjunto de cilindros con el valor de resistencia más bajo del grupo. La variación inherente a la prueba es utilizada cuando no se tienen suficientes especímenes para realizar un análisis estadístico confiable; la ecuación utilizada es la siguiente:

$$\sigma_i = \frac{1}{d_2} \times R$$

donde: σ_i = Desviación Estandar dentro de la prueba

$\frac{1}{d_2}$ = Constante dependiente de la cantidad de cilindro promedio para producir una prueba

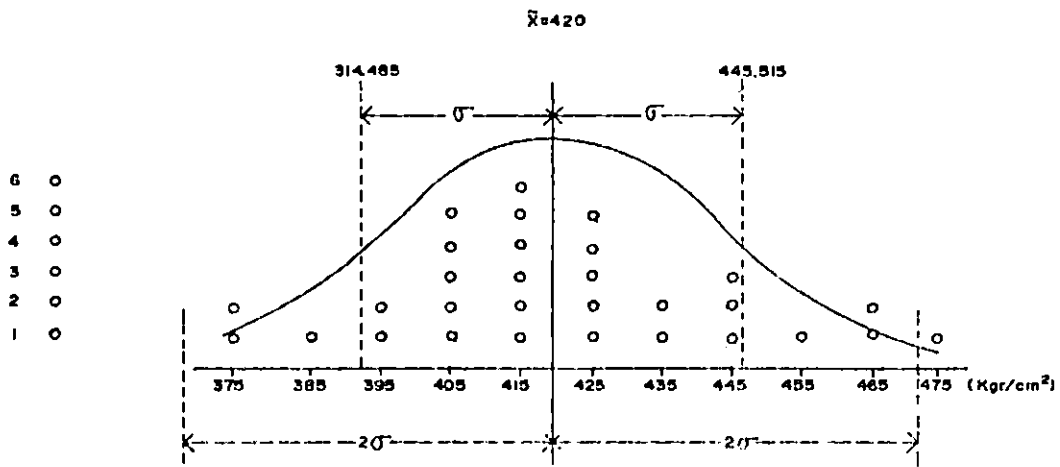
R = Intervalo promedio dentro de grupos de cilindros compañeros

MEZCLA "A" (28 DIAS)

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} = 420.265 \text{ Kgr/cm}^2$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{(n-1)}} = 25.515 \text{ Kgr/cm}^2$$

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100 = 6.07 \%$$



- AREA BAJO LA CURVA

ENTRE $(\bar{X} + \sigma)$ y $(\bar{X} - \sigma) = \frac{23}{30} = 0.77 = 77\% > 68.2\%$

- AREA BAJO LA CURVA

ENTRE $(\bar{X} - 2\sigma)$ y $(\bar{X} + 2\sigma) = \frac{29}{30} = 0.97 = 97\% \triangleq 95.4\%$

MEZCLA "A"

A los 7 días

$$\bar{X} = \frac{329.27 + 323.63 + 316.83}{3} = 323.24 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_i = \frac{1}{d_2} \times R$$

$$\sigma_i = \frac{1}{d_2} \times R = \frac{1}{1.693} \times (329.27 - 316.83) \implies = 7.35 \text{ Kg/cm}^2$$

$$V_1 = \frac{\sigma_i}{\bar{X}} \times 100 = \frac{7.35}{323.24} \times 100 \implies V_1 = 2.27\%$$

A los 14 días

$$\bar{X} = \frac{366.47 + 347.18 + 368.51}{3} = 360.72 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_i = \frac{1}{d_2} \times R = \frac{1}{1.693} \times (368.51 - 347.18) \implies = 12.60 \text{ Kg/cm}^2$$

$$V_1 = \frac{\sigma_i}{\bar{X}} \times 100 = \frac{12.60}{360.72} \times 100 \implies V_1 = 3.49\%$$

A los 60 días

$$\bar{X} = \frac{467.06 + 469.80 + 508.46}{3} = 481.77 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_i = \frac{1}{d_2} \times R = \frac{1}{1.693} \times (508.46 - 467.06) \implies = 41.40 \text{ Kg/cm}^2$$

$$V_1 = \frac{\bar{\sigma}_i}{\bar{X}} \times 100 = \frac{41.40}{481.77} \times 100 \implies V_1 = 8.59\%$$

A los 90 días

$$\bar{X} = \frac{478.30 + 499.27 + 512.65}{3} = 496.74 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_i = \frac{1}{d_2} \times R = \frac{1}{1.693} \times (512.65 - 478.30) \implies = 20.29 \text{ Kg/cm}^2$$

$$V_1 = \frac{\bar{\sigma}_i}{\bar{X}} \times 100 = \frac{20.29}{496.74} \times 100 \implies V_1 = 4.08\%$$

Los calculos se realizaron de igual manera para las mezclas "B" y "C", los resultados se muestran en la Tabla No. 4.7. de la página 183.

TABLA 4.7.

EDAD DE PRUEBA (DIAS)	MEZCLA "A"			MEZCLA "B"			MEZCLA "C"		
	X (Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	V (%)	X (Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	V (%)	X (Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	V (%)
7	323.24	7.35	2.27	340.57	17.15	5.04	327.83	13.02	3.97
14	360.72	12.60	3.49	432.14	23.60	5.46	411.02	34.99	8.51
28	420.65	25.52	6.07	506.81	22.36	4.41	436.51	33.26	7.62
60	481.77	41.40	8.59	491.22	25.83	5.26	504.24	109.86	21.79
90	496.74	20.29	4.08	623.74	31.02	4.97	523.08	59.41	11.36

GRAFICO 4.3

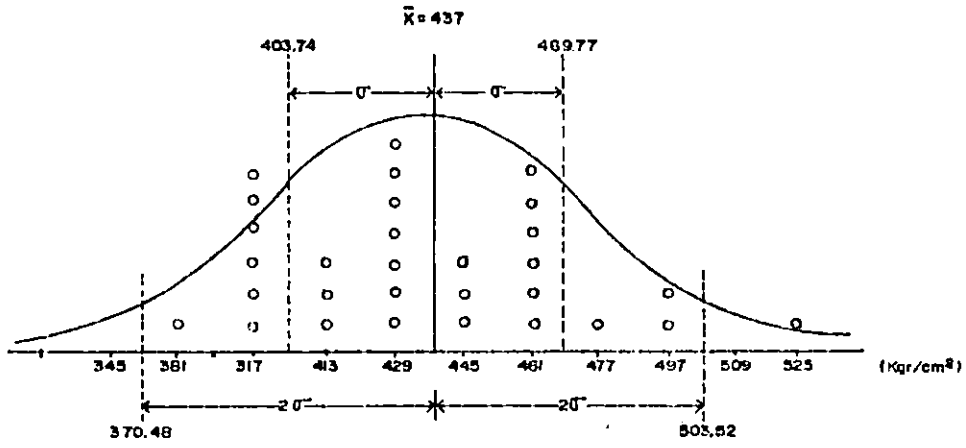
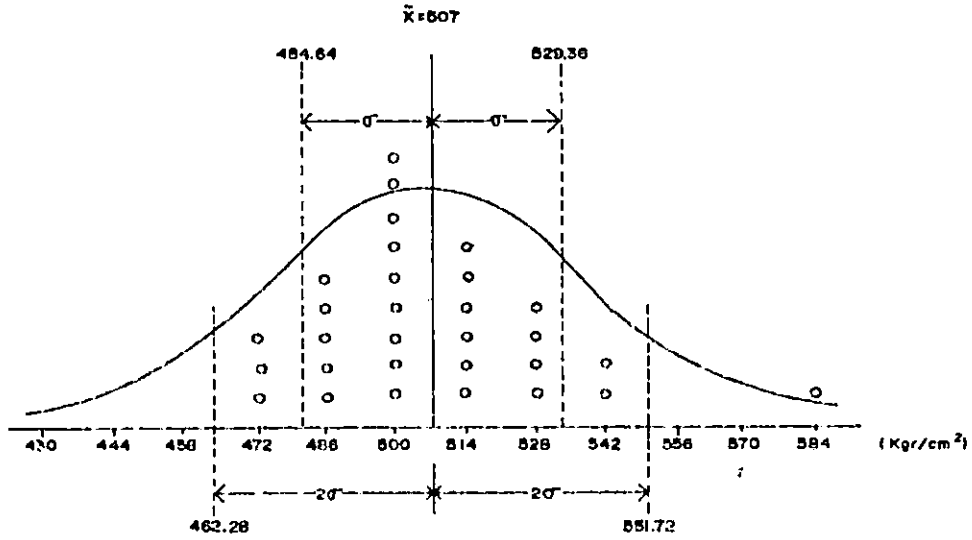


GRAFICO 4.3.1



Dentro de los resultados obtenidos de las diferentes mezclas, los que presentan un análisis estadístico confiable según el Comité ACI-214 y ACI-704, son los que obtuvieron a los 28 días, ya que éstos poseen una cantidad suficiente de especímenes para el cálculo de desviación estandar y coeficiente de variación. El análisis estadístico realizado a las diferentes edades de prueba como son (7, 14, 60 y 90 días) presentan resultados no muy confiables debido a la cantidad mínima de especímenes de concreto a la compresión.

La evaluación de los resultados de la desviación estandar y coeficiente de variación a los 28 días para las mezclas A y B presentan un grado de calidad aceptable, no así la mezcla C que presenta un grado de calidad pobre, debido a algunos problemas de consolidación y cabeceo en los especímenes de concreto.

La magnitud de las variaciones en la resistencia a la compresión de los especímenes de concreto depende de lo adecuado del control de materiales, de la fabricación del concreto y de la realización de las pruebas siendo éstas las fuentes fundamentales del origen de las diferencias en la resistencia.

4.4. DURABILIDAD

La durabilidad del concreto en este apartado se entiende como la resistencia al ataque de los agentes químicos a que fue expuesto, ésta fue medida como la pérdida en peso de cada espécimen de mezcla de concreto.

A continuación se realiza un análisis a los ácidos orgánicos y sulfatos a los cuales se les realizó la prueba de durabilidad.

4.4.1. ACIDOS ORGANICOS

Al comparar los especímenes de las 3 mezclas que fueron sometidas a los ácidos acético y láctico, el más agresivo es el ácido acético (Ver Fotografías en Pag. No. 195), siendo la pérdida de peso mayor (10.91%) en la mezcla "C", la cual contiene superplastificante y microsilica, esta pérdida de peso es muy similar a la de la mezcla de control. La menor pérdida de peso (9.69%) se obtuvo de la mezcla "B", ésta como ya se mencionó no contiene microsilica, sólo superplastificante. (Ver Gráfica No.4.4., pag. No. 191). Como puede observarse en la gráfica, el ataque químico o desgaste de los especímenes fue más rápido hasta el cuarto ciclo; luego fue disminuyendo lentamente hasta llegar al ciclo No. 12.

Si nos referimos al ácido láctico, la mezcla "B" tuvo casi el mismo comportamiento con la mezcla de control; la mezcla "C" tuvo ligeramente mayor pérdida de peso, por otra parte la mayor agresión (% pérdida de peso) se dió hasta el ciclo No. 3; como puede observarse en las Tablas Nos. 3.12, 3.13, 3.14, Pags. Nos. 156-158 y Gráfica No. 4.5, Pag. No. 192.

Las soluciones de los dos ácidos orgánicos sufrieron cambios al estar en contacto con el concreto; la solución del acético cambió a color rojizo progresivamente, transmitiéndose éste a los cilindros de prueba; los que al sacarse de la solución tenían un color café, similar al de la arcilla.

Por otra parte, también la solución del ácido láctico cambió en forma progresiva a un color amarillo verdoso, tomando un parecido con la crema derivada de la leche, adheriéndose esta sustancia a los cilindros de prueba; los que al sacarse de la solución en el Ciclo No. 3, se hizo visible y al secarse se volvían de color blanco.

Si comparamos el ataque químico de los ácidos inorgánicos, específicamente con el ácido sulfúrico, estudiado en la primera investigación (27.38% de pérdida en peso) en iguales condiciones de dosificación con el ácido orgánico más agresivo (ácido acético 10.91% de pérdida en peso), se puede observar que el ataque es más rápido en los ácidos inorgánicos, ya que la agresividad de éstos, es más del doble que los orgánicos, probados en este estudio.

Por otra parte, al introducir los especímenes de prueba en las soluciones con ácido acético se observó efervescencia, siendo menor en la mezcla "B", en la cual se obtuvo menor pérdida de peso o mejor dicho, mayor resistencia al ataque a este ácido (Ver Tabla 3.13. Pag. No. 157).

4.4.2. SULFATOS

El porcentaje de pérdida de peso en los especímenes sometidos a los sulfatos se debió al desgaste por abrasión al ser cepillados con cepillo de alambre; aunque físicamente este desgaste no es visible en las muestras; y como puede observarse en la Tabla No. 4.8, página 190; es mínimo.

- El Comité ACI-201 considera que el grado de exposición de un concreto es "muy severo", cuando una solución de sulfato en agua es mayor del 2%; sin embargo, debido a que los especímenes de concreto fueron sometidos a una solución de sulfato, cinco veces mayor, se formaron microfisuras en éstos, por lo que deben realizarse pruebas con solución que contengan menores contenidos de sulfatos.
- Al comparar los especímenes de las 3 mezclas, se pudo observar que en las mezclas "B" y "C", el ataque de los sulfatos fue más severo que en las mezclas de control. Este ataque se reflejó en microfisuras; las cuales en la mezcla "B" fueron más abundantes y visibles en los especímenes sometidos en sulfato de magnesio y en la mezcla "C", fueron más abundantes en los especímenes sometidos en sulfato de sodio. Estas microfisuras fueron más visibles en las muestras húmedas que en las muestras secas.
- En los especímenes sometidos a sulfato de sodio en las 3 mezclas, se observaron formación de sales de color blanco en la superficie de los especímenes en los lugares donde existen poros en el concreto (1.0 - 1.5 mm de diámetro).

- En las soluciones con sulfatos no se observaron cambios de color, durante los 12 ciclos de prueba, como los ocurridos en los ácidos.

Es de suponer que la formación de microfisuras en cualquier concreto disminuyen la permeabilidad y la resistencia a la compresión de éstos; esto significa que de las mezclas de concreto ensayadas (sometidas a una muy alta concentración de sulfatos) la que soportó la mayor agresión fué la mezcla de control.

La siguiente Tabla (4.8.) muestra los resultados de la prueba de Durabilidad, mejor dicho la resistencia de los CGC al ataque químico provocado por sustancias agresivas a que fue expuesto las diferentes mezclas de concreto.

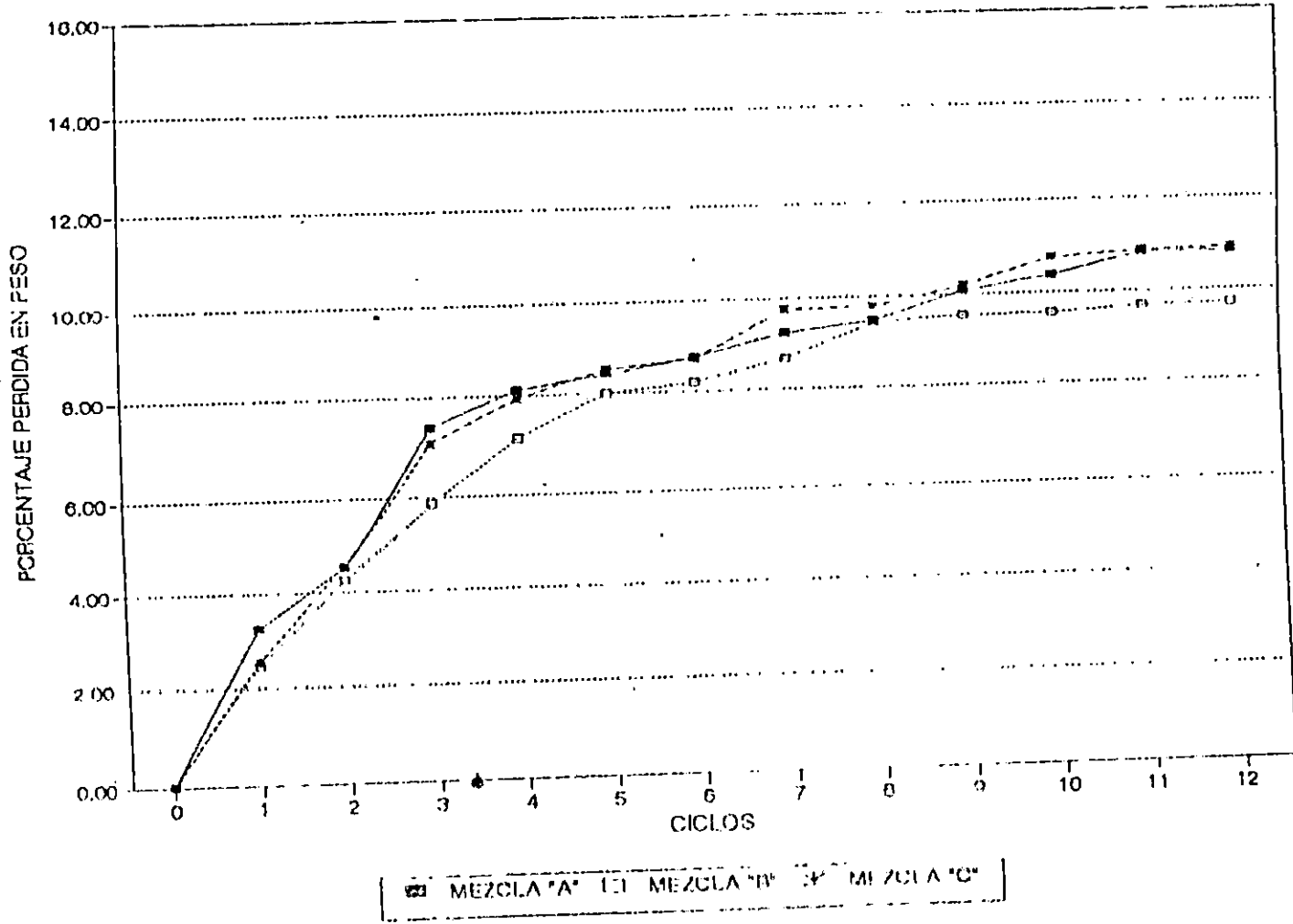
TABLA 4. 8.
COMPARACION DE DURABILIDAD

SOLUCION AL 10%	PERDIDA DE PESO EN PORCENTAJE		
	MEZCLA "A" (A/C=0.30)	MEZCLA "B" (A/C=0.30)	MEZCLA "C" (A/C=0.33)
Acido acético	10.83	9.69	10.91
Acido láctico	5.17	5.18	5.32
Sulfato de Magnesio	0.62	0.62**	0.44
Sulfato de Sodio	0.43	0.35	0.46**
Acido sulfúrico	PRIMERA ETAPA DE ESTE ESTUDIO*		27.38

- * Para este primer estudio se utilizó arena del Río Las Cañas (San Salvador), superplastificante 1.5% y microsílca 10% en peso del cemento.
- ** Se formaron Microfisuras (dando como resultado concretos más permeables)

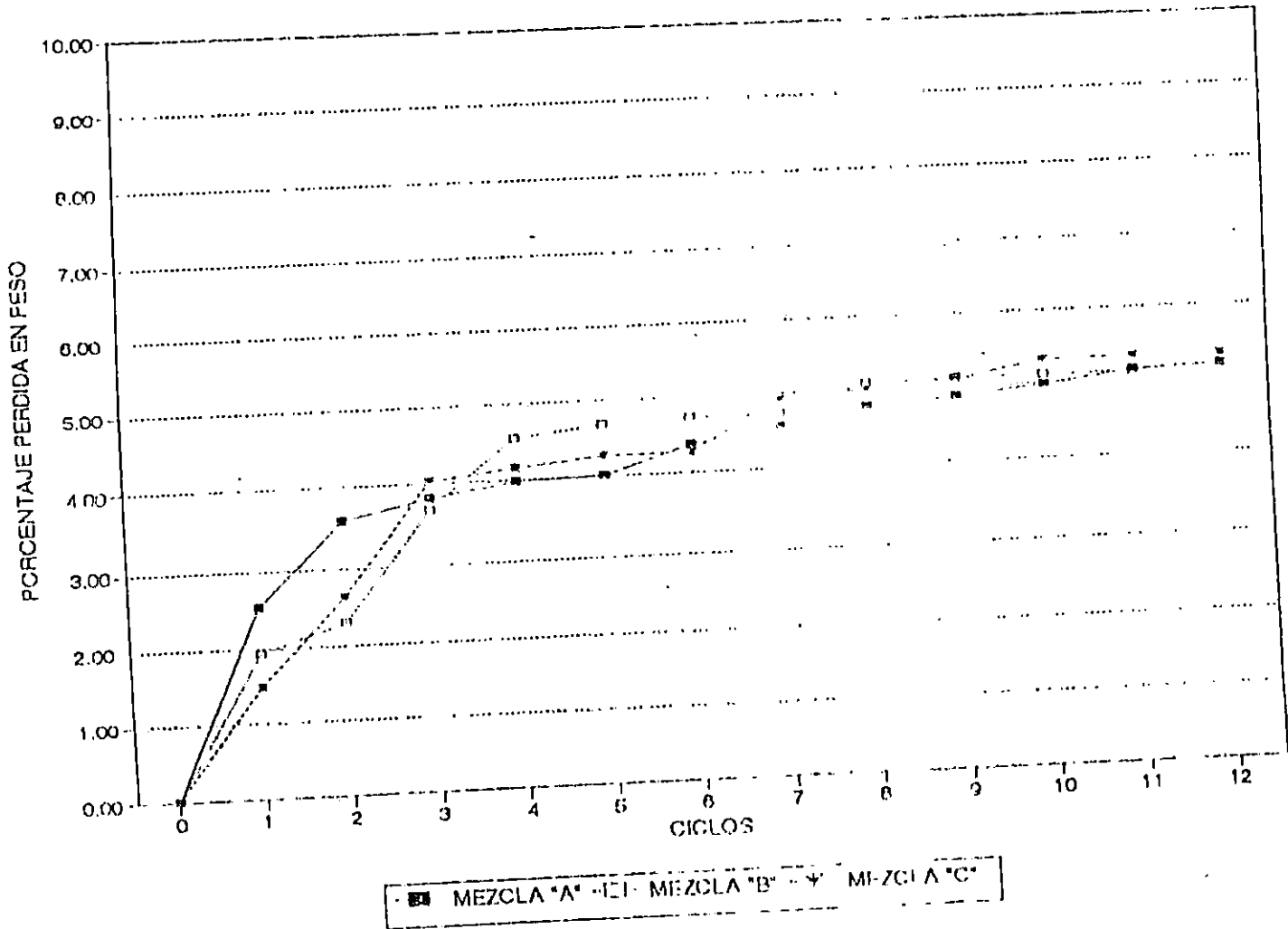
GRAFICA 4.4 COMPARATIVA DE PERDIDA PORCENTUAL DE PESO POR CICLOS

ACIDO ACETICO



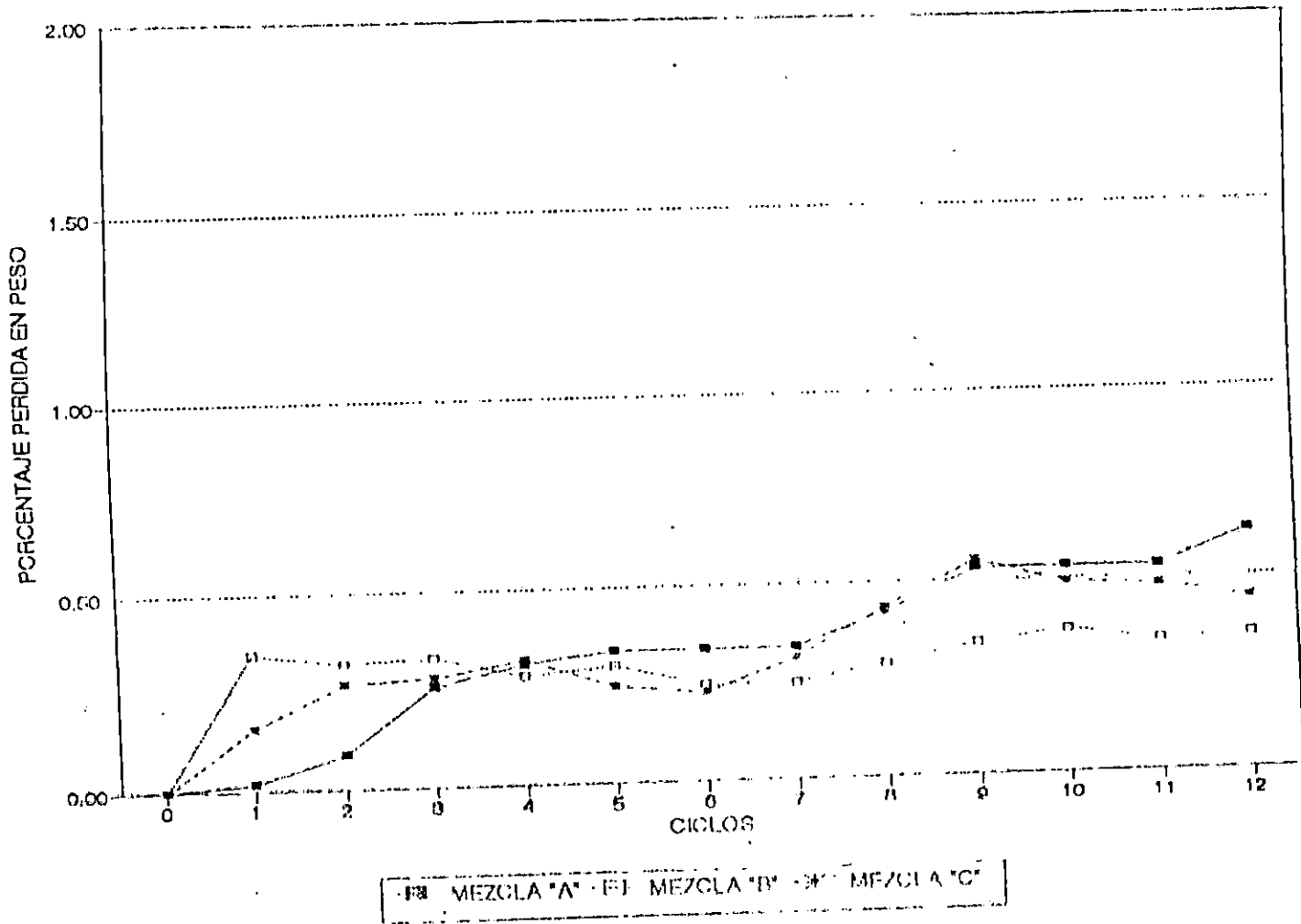
GRAFICA 4.5 COMPARATIVA DE PERDIDA PORCENTUAL DE PESO POR CICLOS

ACIDO LACTICO



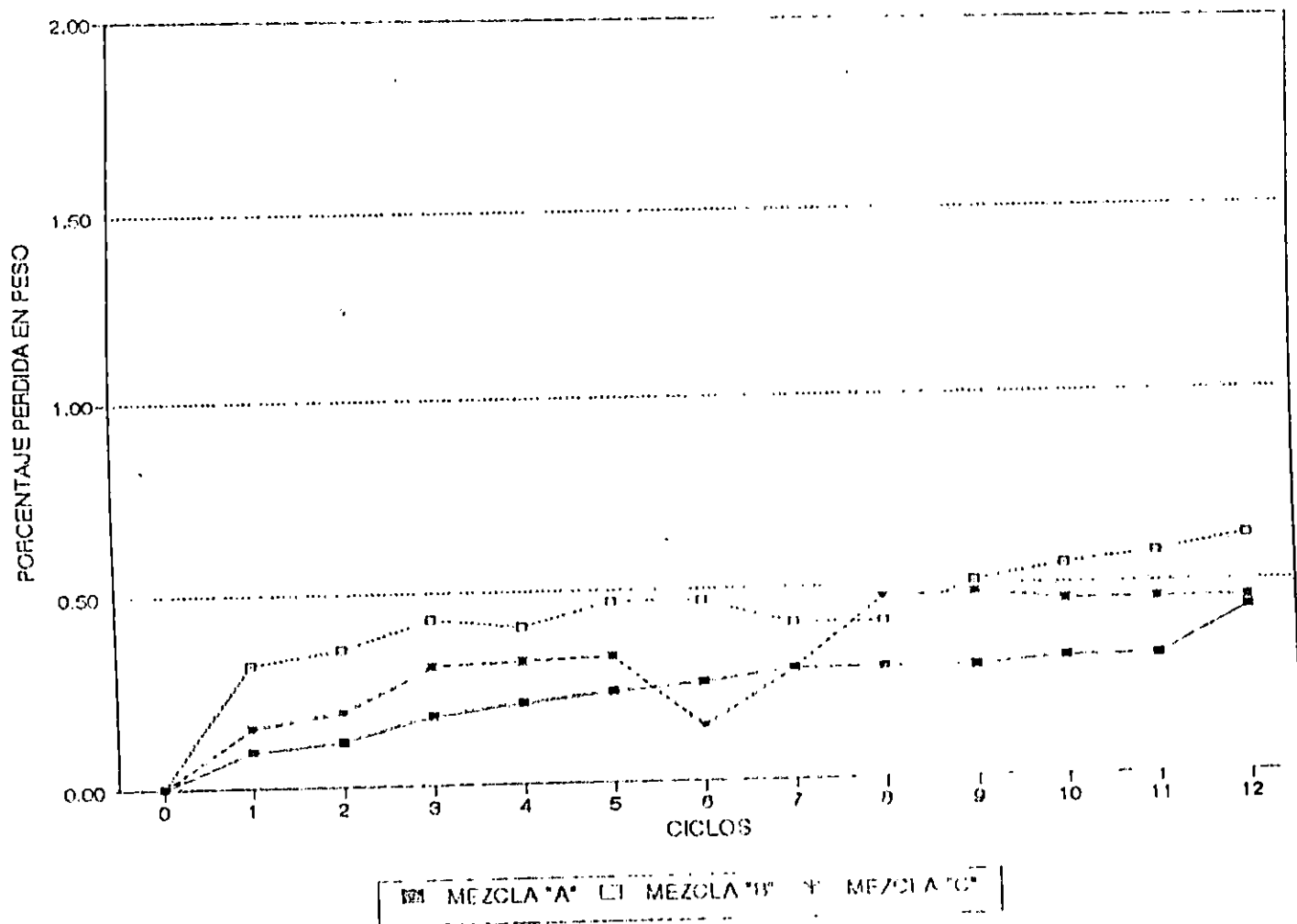
GRAFICA 4.6 COMPARATIVA DE PERDIDA PORCENTUAL
DE PESO POR CICLOS

SULFATO DE MAGNESIO



GRAFICA 4.7 COMPARATIVA DE PERDIDA PORCENTUAL DE PESO POR CICLOS

SULFATO DE SODIO





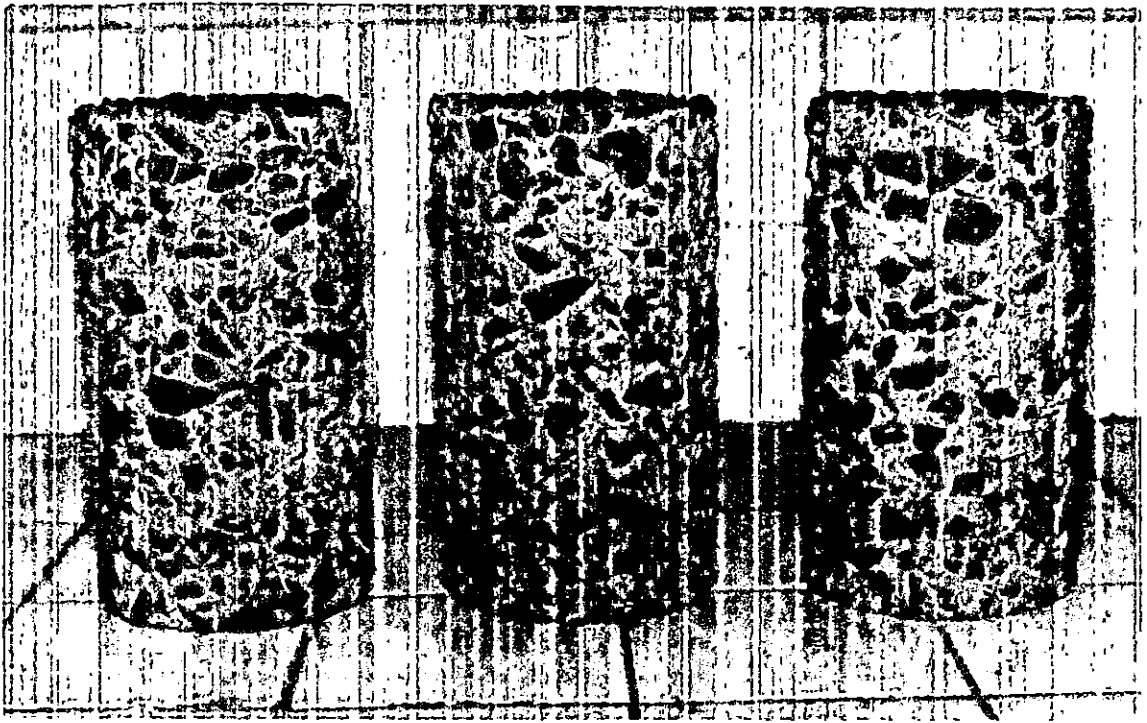


Fig. 4.1. La fotografía muestra los especímenes de concreto de 20 x 10 cms después de ser sometidos a 12 ciclos en ácido acético.



Fig. 4.2. La fotografía muestra los especímenes de concreto de 10 x 20 cms después de ser sometidos a a 12 ciclos en ácido láctico.

CONCLUSIONES

1. Con el Cemento Tipo I (PM) se puede fabricar concretos de gran comportamiento; aunque de acuerdo a los resultados obtenidos no es el óptimo debido al alto contenido de puzolana incorporada al cemento.
2. Los resultados obtenidos en el ensayo de Resistencia a la Compresión del concreto con el agregado grueso utilizando un tamaño máximo de 3/4", en el cual se incrementó el porcentaje de diseño con relación al sugerido por el Comité ACI-211.1.81, fueron satisfactorios.
3. El contenido de partículas planas y alargadas en el peso total del agregado grueso fué de 26.6%, excediendo los límites de 20% establecidos según el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU. (CDR-C119-53)
4. Con los resultados obtenidos se puede observar que es perfectamente factible obtener CGC sin la adición de microsílca cuando se requiere resistencia a los sulfatos.
5. En la mezcla "C" con proporción de microsílca del 10% en peso del cemento se puede concluir que no se tuvo problemas de manejabilidad de importante consideración, lo que se le atribuye a la cantidad de aditivo superplastificante que fue del 2.5% y al tipo de microsílca usada que fue de la marca "GRACE".
6. La mezcla "C" resultó tener menor revenimiento que la mezcla "B" y sus valores más frecuentes fueron de 9.5 cms y 12.5 cms respectivamente. A pesar de que la primera mezcla se diseño con una relación A/C 0.33 y

2.5% de superplastificante y la mezcla "B" se diseño con una relación A/C 0.30 y 2.0% de superplastificante.

7. En los CGC, el concreto fresco mantuvo una buena manejabilidad durante el tiempo necesario para ser colado en los cilindros, debido a la acción del aditivo superplastificante.
8. Todos los especímenes ensayados a los 60 días y 90 días; explotaron mostrando una falla de ruptura cónica. Por otra parte la falla por adherencia en la interfase pasta-agregado se pudo observar que en la mezcla de control fue mayor que en las mezclas "B" y "C", siendo menor en ésta última.
9. Los datos que proporciona la presente investigación con respecto a la ruptura de cilindros, demuestra que: en los CGC la ganancia de resistencia a la compresión con edades posteriores a los 28 días, es notable, por lo que la resistencia final del concreto deberá tomarse a los 90 días y no a los 28 días como esta normado para los CRN.
10. Los especímenes de concreto que fueron cabeceados con material de Alta Resistencia, presentaron mejores resultados que los cabeceados usando solamente la máquina pulidora.
11. A partir de los resultados obtenidos de la prueba de resistencia a la compresión del concreto de los especímenes ensayados a los 28 días el análisis estadístico es confiable, según el Comité ACI-214 y ACI-704, ya

que estos poseen una cantidad suficiente de especímenes de concreto para el cálculo de desviación estandar y coeficiente de variación.

12. De los dos ácidos probados el acético y el láctico; considerados según el Comité ACI-201 con una velocidad de ataque a temperatura ambiente rápida; el ataque químico del ácido acético es más severo en el concreto, al ser expuesto a períodos alternos y continuos, de inmersión y secado.
13. Los ácidos inorgánicos son de ataque más severo al concreto que los ácidos orgánicos, esto se deduce al hacer una comparación entre los resultados de la Primera Etapa y la presente Investigación. Aunque entre éstos últimos falta probar el ácido fórmico que también forma parte de esta clasificación según el Comité ACI-201.
14. No se puede concluir que la microsílca no realizó ningún papel de importancia en el CGC, debido a que la mezcla "C" que contiene microsílca y superplastificante tiene una relación A/C de 0.33; mientras que la mezcla "B" que incluye únicamente superplastificante tiene una relación A/C de 0.30.
Aunque el ataque químico del ácido acético fué más agresivo con la mezcla "C" comparado con la mezcla "B".
15. El ataque químico de los ácidos orgánicos probados en las 3 mezclas, se comportó en forma severa hasta el ciclo No. 3; lo cual se comprueba por el alto porcentaje de pérdidas en peso. Mientras que en los siguientes ciclos su pérdida en peso disminuyó considerablemente debido a la posible pérdida de concentración en la solución.

16. La mezcla "A" (de control) presentó mayor resistencia al ataque químico de los sulfatos sin la necesidad de utilizar aditivos o adiciones de microsilica, debido a que el cemento Tipo I (PM), según Norma ASTM C-595 incluye en su fabricación un porcentaje considerable de puzolana y su relación A/C fué de 0.30.
17. Con el uso de microsilica se obtiene una mayor resistencia al sulfato de magnesio y menor al sulfato de sodio; debido a la mayor formación de microfisuras en este último.
18. De los ácidos utilizados en esta investigación, el que presentó la mayor reacción química (efervescencia y temperatura) fué el ácido láctico, aumentando su temperatura, desde la condición inicial (agua solamente) de 25.8°C hasta 26.8°C (en solución); mientras que en los sulfatos no se observó ningún tipo de variación.

RECOMENDACIONES

En base a las conclusiones establecidas se dan las siguiente recomendaciones:

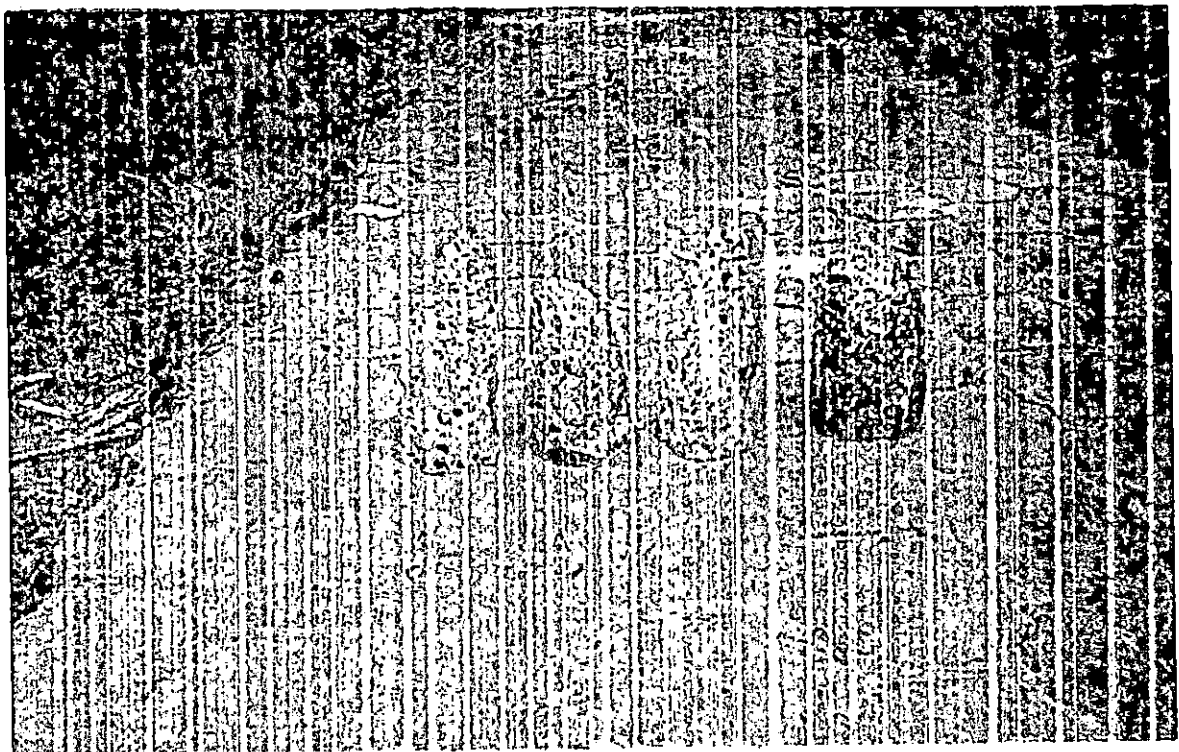
1. Elaborar CGC con agregados gruesos de menor tamaño que los utilizados en este estudio (Utilizar TMA $\leq 1/2"$) aumentando el porcentaje en el diseño con relación a lo especificado en el Comité ACI-211.181; sugiriéndose además usar agregados triturados de forma cúbica.
2. Realizar mezclas que incluyan en su diseño un porcentaje mayor al 10% de microsilica en peso del cemento para observar tanto su comportamiento reológico como sus propiedades en el concreto endurecido.
3. En cuanto al precurado de los especímenes de concreto, se sugiere el uso de cubiertas plásticas herméticas para evitar la pérdida del agua de mezcla.
4. Para el cabeceo de los especímenes de concreto que serán sometidos a la ruptura, es recomendable que se realice con material de Alta Resistencia, según Norma ASTM C-617; para obtener los máximos resultados de prueba.
5. Al producir concreto con microsilica es necesario tener en cuenta que: la presentación de la microsilica influye en las dosificaciones, tiempos de revoltura, etc. Por lo tanto es necesario hacer mezclas de prueba cuando

no se trate de los tipos (marcas comerciales) considerados en los estudios realizados hasta el momento, para observar su comportamiento.

6. Hacer pruebas con el consistómetro de VIE-BE y sacar un factor que se relacione con los resultados obtenidos con el cono de revenimiento.
7. Tomar la temperatura durante la fabricación de todos los diferentes diseños de mezclas y efectuar comparaciones.
8. Realizar investigaciones usando métodos estadísticos para la evaluación de los resultados a la ruptura del concreto a la edad de 60 días, con un número suficiente de especímenes.
9. Para futuros estudios se recomienda realizar pruebas de durabilidad con ácido fórmico; ya que éste es utilizado en plantas químicas; así como también pruebas con hidróxido de sodio (soda cáustica).
10. En la prueba de durabilidad se recomienda que los ciclos de inmersión y secado sean de 96 horas de duración, debido a que los especímenes no presentan un secado completo al momento de ser raspados.
11. Si se desea investigar más con los ácidos orgánicos y sulfatos de este estudio y verificar la efectividad del comportamiento de la microsíllica (disminuir las pérdidas de peso), deberán utilizarse dosificaciones mayores de ésta manteniendo las concentraciones y dejar fijos los demás componentes.

12. Se deben realizar pruebas a la durabilidad del concreto con otros tipos de superplastificantes, que se encuentren disponibles en el mercado, o con otros fabricantes del mismo tipo utilizado (tipo F), para verificar la compatibilidad con el cemento utilizado.
13. Se deberá realizar un análisis químico a la superficie de la muestra sometida al ataque con ácidos para verificar cuál es el componente del cemento que cede a la desintegración de la pasta.
14. Incluir temas generales sobre "CGC" en la materia de tecnología del concreto con el objeto de informar sobre las bondades de estos concretos.
15. Establecer una vinculación entre las Universidades y empresas relacionadas con el concreto de tal forma que se puedan obtener resultados a corto plazo y difundirlos.

ANEXOS Y FOTOGRAFÍAS



Arriba: La fotografía muestra el revenimiento de 12.5 cms de la Mezcla "B"

Abajo: Fotografía muestra diferentes tipos de fallas de ruptura.

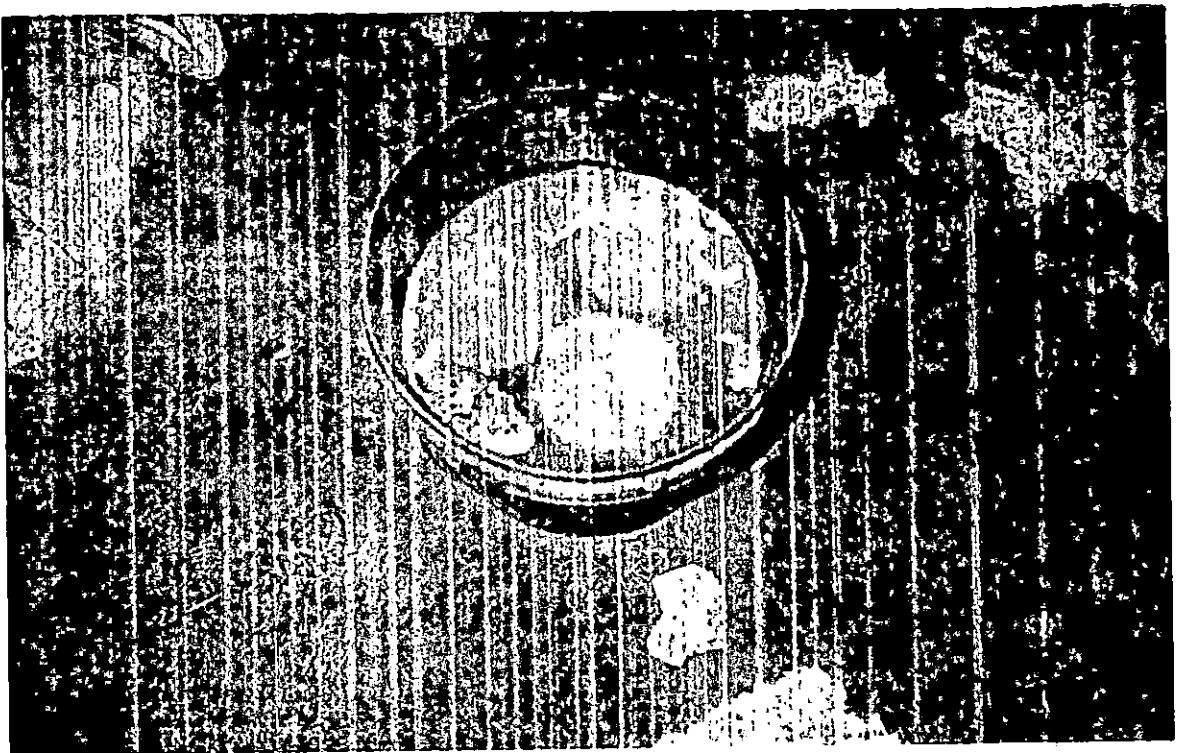
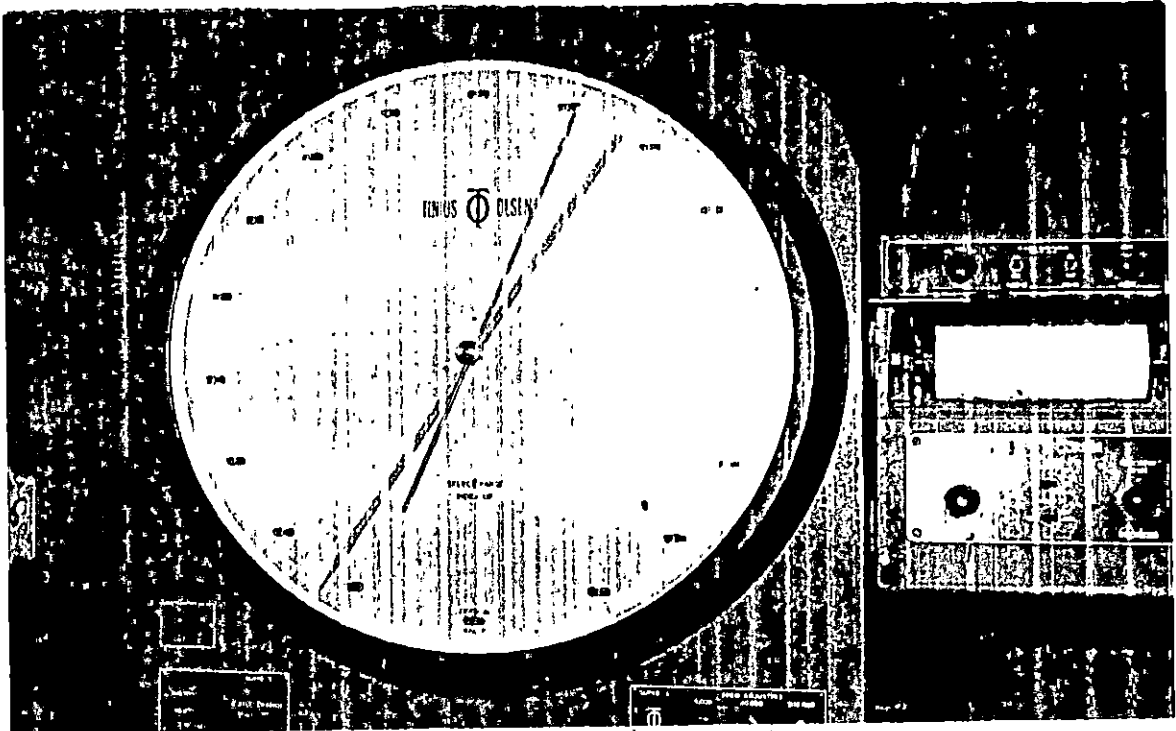
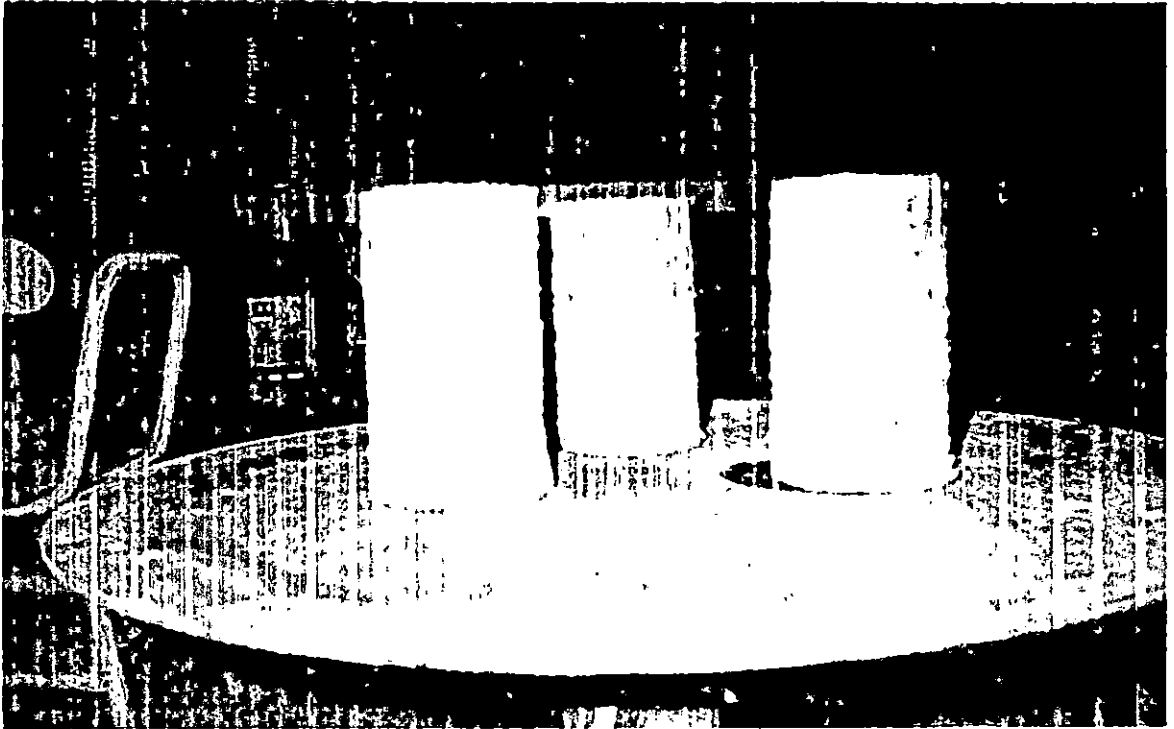


Foto superior: Muestra una lectura durante ensayo de compresión.

Foto Inferior: Muestra la efervescencia de tres especímenes 100 mm x 200 mm de la Mezcla "A" sometidos a ácido láctico.



La fotografía muestra tres especímenes de 100 mm x 200 mm en el tercer ciclo,
en la etapa de secado

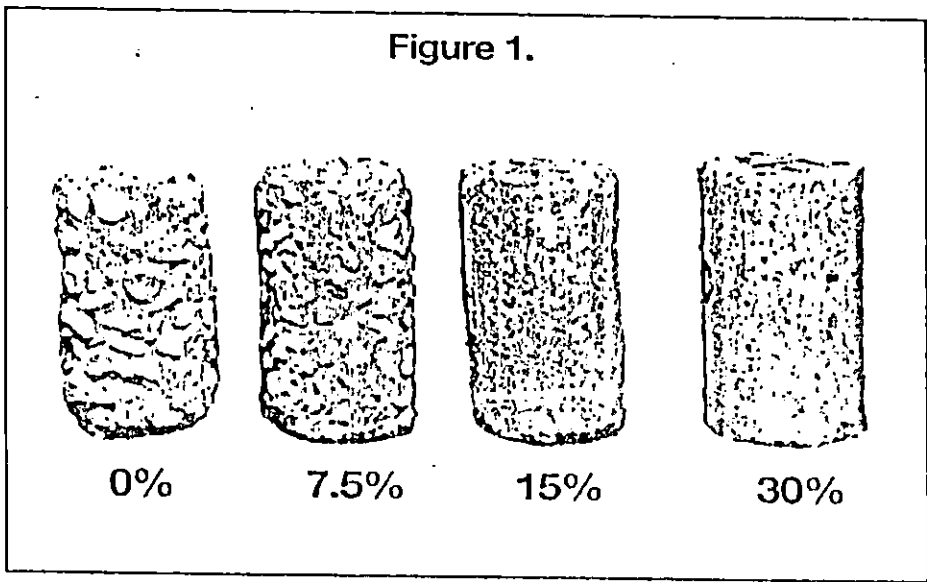
ENGINEERING BULLETIN

Force 10,000® / Number Seven

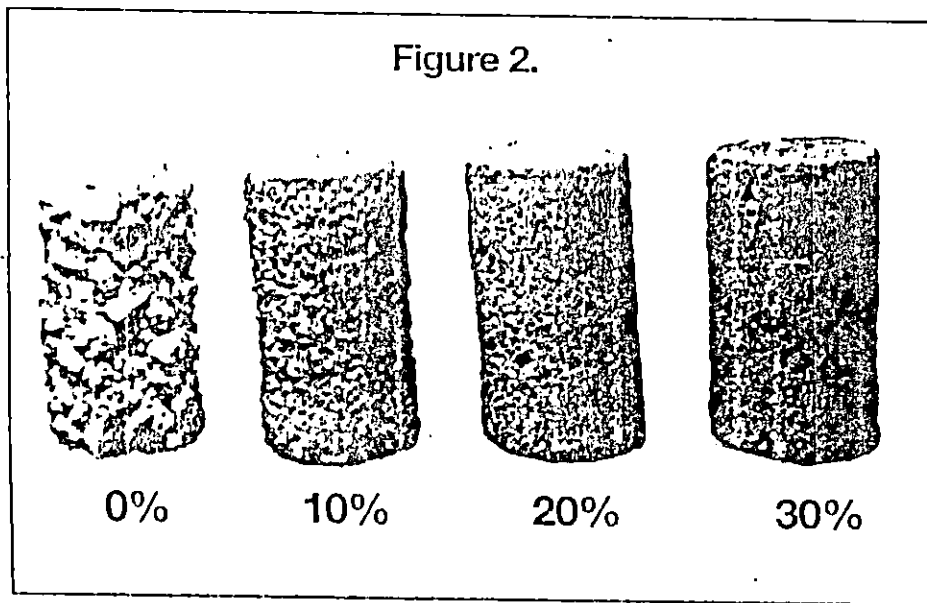
FORCE 10,000TM MICROSILICA INCREASES THE RESISTANCE OF CONCRETE TO AGGRESSIVE CHEMICALS

Though portland cement concrete is a highly-durable structural material, certain physical and chemical actions can render it unserviceable long before it has reached its design life. Accelerated deterioration can occur on exposure to harsh chemicals such as acids and sulfates. Because the costs associated with premature failure are high, there is considerable incentive for developing ways to predict and prevent deterioration.

Rapid deterioration is often attributed to inadequate mix proportions, improper cement types, low-quality aggregates or poor workmanship. Avoiding these factors may well eliminate or mitigate deterioration. However, some environments are so aggressive that additional steps are needed to insure durability. Specialty cements, various admixtures, pozzolans, coatings and surface treatments are some of the options that have been used with varying degrees of success. This bulletin describes the use of microsilia (also known as silica fume) for reducing the deterioration of concrete by chemical attack. Deterioration is defined as the degradation of the concrete material itself.



Samples tested in 5% Acetic acid for 6 months (12 cycles). Samples are identified by microsilia dosage. (See figure 3)



Samples tested in 5% Formic acid for 9 months (18 cycles). Samples are identified by microsilia dosage. (See figure 4)

Mechanisms of Deterioration

Deterioration of concrete can be discussed in terms of two mechanisms: the removal of material from the cement paste by dissolution, and the expansion of material within the concrete.

Dissolution

In this process, a solvent dissolves soluble material and removes it from the concrete matrix. As a result, the concrete becomes more porous, the rate of dissolution increases, and the concrete may ultimately disintegrate. The material removed may be a substance normally present in concrete such as calcium hydroxide, or may be formed by a chemical reaction that occurs on exposure of the concrete to external media. Dissolution without chemical reaction is often referred to as leaching. Removal of the calcium hydroxide in the cement paste by permeating water is an example of leaching. The deterioration of concrete exposed to hydrochloric acid is an example of dissolution by chemical reaction. The acid reacts with the calcium hydroxide to form calcium chloride which dissolves in the acid solution and is carried away. If the reaction products are readily-soluble, as in the case of calcium chloride, deterioration can be rapid and more severe than occurs with the leaching of calcium hydroxide which is only moderately soluble.

Another example of chemical attack is found in sewage lines where hydrogen sulfide (H_2S) is formed by the action of anaerobic, sulfur-reducing bacteria. This gas is then oxidized to sulfuric acid by aerobic bacteria and in turn reacts with the alkaline paste of concrete.

Expansion

Cracking and spalling result if a chemical reaction causes a pressure increase within the concrete matrix. This can occur if the reaction products are insoluble and occupy a greater volume than the original substance. Expansive reaction examples are attack by sulfates, alkali-silica reactions and freeze-thaw deterioration.

Rate of Deterioration

Knowing the rate of deterioration is essential to predicting the life expectancy of concrete structures exposed to various attacking media. Because the rate of attack is affected by a host of factors, it is usually only possible to predict deterioration in qualitative terms. Some of the most important factors are discussed below.

Permeability of Concrete

Concrete permeability plays a major role in determining the rate of deterioration caused by external agents. It affects the depth to which the attack occurs, the amount of susceptible material exposed to the attacking medium, how rapidly the attacking medium is replenished in the attack zone and how quickly materials are leached from the interior of the concrete. The higher the permeability, the greater the rate of attack. This also applies to concretes only partially exposed to the attacking medium. Permeability is not necessarily related to porosity but is dependent on the geometry of the pores and the pore size distribution.

If the concrete is impermeable, the attack will be relatively superficial and limited to the surface. Attack within the concrete will be governed by molecular diffusion which is much slower than convective processes. The use of low-permeability concrete is the primary means of preventing or minimizing the effects of external attack.

Quantity of Aggressive Material

Just as the amount of material that is exposed to attack affects the rate of attack, so does the amount of attacking agent. The more concentrated the chemical is in the attacking medium, the greater its capacity for doing damage.

The mode of exposure is also important. Cyclic exposure with alternate wetting and drying of the concrete may be even more detrimental than continuous exposure to the attacking medium.

Solubility

The solubility of the reactant products also affects the rate of attack, and in some cases may actually be the major factor controlling the degree of deterioration. Clearly, the more soluble

the concrete component is in the attacking medium, the greater the amount of material that will be removed and the faster the rate of deterioration.

Temperature

The rate of chemical reaction increases exponentially with temperature (approximately doubling for each 50° F increase), so the rate of chemical attack on concrete can also be expected to increase with temperature.

Abrasion

Abrasion increases the amount of concrete exposed to the aggressive medium and also promotes the removal of material weakened by chemical attack. As a result, the rate of deterioration is accelerated. Factory floors and pipelines are examples of how deterioration can result from the combined action of abrasion and chemical attack.

Reducing Degradation

The first line of defense against aggressive chemicals of all types is to decrease the permeability of the concrete. This reduces the amount of concrete exposed to attack at any one time by slowing the permeation of the aggressive agents into the bulk of the concrete. Reducing the water/cement ratio of concrete is one means of reducing permeability. However, if an aggressive agent is attacking and deteriorating the cement paste in concrete, then using a higher cement factor to lower the water/cement ratio can be counterproductive, since this will result in more material to be attacked. Therefore, the use of superplasticizers is essential to attain low water/cement ratios while minimizing the necessary increase in cement factors. The addition of microsilica to low water/cement ratio concrete has been shown to dramatically reduce permeability below the level made possible by lowering the water/cement ratio. When deterioration is due to expansive forces, the use of air entrainment and/or porous aggregates can reduce deterioration by providing areas for expansive product accumulation without the resultant build-up of internal stresses.

**Contractor
Product Information**



**FORCE 10,000[®]
HIGH PERFORMANCE
ADMIXTURE**

What it is

Force 10,000[®] is a microsilica-based admixture which imparts a variety of benefits to concrete including high strength, increased durability, reduced permeability and improved consistency. While relatively new to the U.S. construction industry, microsilica has been used successfully in Europe for decades.

Microsilica, or silica fume, is a condensation byproduct from the production of silicon and ferrosilicon metals. Microsilica particles are approximately 1/100 the size of cement particles, and are highly reactive pozzolans.

How it works

Ordinary concrete is produced through the chemical reaction of cement and water. The reaction creates a calcium-silicate gel that holds the aggregates together and a non-productive calcium hydroxide that occupies up to one quarter the volume of the cement paste. When the Force 10,000 liquid slurry is added to the concrete, it reacts with the calcium hydroxide converting it into additional calcium-silicate gel. This alters the pore structure of the concrete, fills gaps between aggregates and increases the bond strength of the paste. The result is a much stronger, more durable, less permeable concrete.

Contractor Benefits

- **High ultimate strengths**—Force 10,000 consistently produces concrete strengths of 9,000 to 15,000 psi using appropriate quality controls and local materials as specified by ACI 318 and or ACI 363.
- **High early strengths**—Force 10,000 makes it easier to attain minimum stripping strengths, alleviating a major cause of costly construction delays. In Prestress/Precast operations the high early release strengths that are so important to the construction are now obtainable.
- **Reduced permeability**—Force 10,000 concrete is much less permeable than ordinary concrete. It is highly resistant to penetration by chloride salts and water, reducing the potential for corrosion problems.
- **Increased durability**
- **Higher resistance to hydraulic abrasion**
- **Greater resistance to sulfates and alkali-aggregate reactivity**
- **Improved watertightness**

Placing and finishing of concrete containing Force 10,000 should follow appropriate ACI and ASTM guidelines.

REGIONAL SALES OFFICES

CALIFORNIA, Pleasanton
6960 Koll Center Parkway
Suite 307 (94566)
(510) 462-9620

FLORIDA
1200 N.W. 15th Avenue
Pompano Beach, FL 33069
(305) 974-6700

ILLINOIS
Borlford Park
6051 W. 65th St. (60638-5396)
(708) 458-9700

MASSACHUSETTS
62 Whittemore Avenue
Cambridge, MA 02140
(617) 876-1400

TEXAS, Houston
P.O. Box 2585 77252
4323 Crites Street 77003
(713) 223-8353

IN CANADA
294 Clomonts Road, W.
Ajax, Ontario L1S 3C6
(416) 683-8561

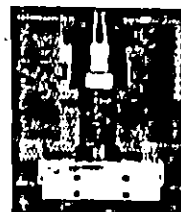
GRACE
Construction Products

Copyright 1989 W.R. Grace & Co.-Conn.

Force 10,000 is a registered trademark of Construction Products Division, W.R. Grace & Co.-Conn. We hope the information given here will be helpful. It is based on data and knowledge considered to be true and accurate and is offered for the user's consideration, investigation and verification but we do not warrant the results to be obtained. Please read all statements, recommendations or suggestions in conjunction with our conditions of sale which apply to all goods supplied by us. No statement, recommendation or suggestion is intended for any use which would infringe any patent or copyright. Construction Products Division, W.R. Grace & Co.-Conn., 62 Whittemore Avenue, Cambridge MA 02140.

Force 10,000®

High Performance Concrete Admixture



DESCRIPTION:

FORCE 10,000® is a microsilica-based liquid admixture designed to increase concrete compressive and flexural strengths, increase durability, reduce permeability and improve hydraulic abrasion-erosion resistance. FORCE 10,000 contains a minimum of 5.5 lbs (0.66 kg/l) of microsilica and weighs 11.5±0.1 lbs/gal (1.38±0.12 kg/l).

USES:

FORCE 10,000 can be used to consistently produce concrete with strengths of 6,000 psi (41.4 MPa) and higher in most instances with locally available materials and existing methods. It may also be used in precast and prestress applications where high early strengths are required. The addition of FORCE 10,000 also produces concrete with increased watertightness and dramatically reduced permeability compared to conventional mixes. Reduced permeability is an important advantage in slowing the intrusion of chloride where corrosion of reinforcing steel is a potential problem. Examples are parking garages, bridge decks and concrete in a marine environment. FORCE 10,000 also enhances the durability of concrete against aggressive chemical attack and in hydraulic abrasion-erosion applications.

CHEMICAL ACTION:

FORCE 10,000 improves concrete through two mechanisms. The extremely fine microsilica particles are able to fill the microscopic voids between the cement particles, creating a less permeable structure. In addition, the microsilica reacts with the free calcium hydroxide within the concrete to form additional calcium silicate hydrate (glue), producing a tighter paste-to-aggregate bond.

ADDITION RATE:

FORCE 10,000 dosage rates will vary based on the requirements of the application. Dosage rates should be calculated on percent microsilica per hundred weight of cement, or on pounds per cubic yard of concrete, as appropriate. Dosage rates will be as specified. If not specified, consult your Grace representative for your particular job needs.

COMPATIBILITY WITH OTHER ADMIXTURES:

FORCE 10,000 is compatible with all conventional air-entraining agents, water reducers, superplasticizers, set retarders and (HCl) corrosion inhibitor. Only non-chloride set accelerators, such as Daraset®, may be used with FORCE 10,000 concrete. All admixtures must be added separately to assure their prescribed performance. Trial mixes and pretesting of concrete are recommended to optimize dosage rates, and ensure ultimate performance.

CONCRETE MIX:

FORCE 10,000 can be used in either central or transit mix concrete production, and in mobile mixers. FORCE 10,000 may be used in conjunction with water-reducing admixtures (both normal and high range as approved by ASTM) to assure workability of the mix.

FORCE 10,000 does not affect concrete set times. When slump life extension is desired for transportation, finishing, etc., FORCE 10,000 may be used with an ASTM C494, Type G, slump extending superplasticizer like DARACEM® 100 as manufactured by Grace Construction Products, or approved equal.

MIX WATER REDUCTION:

Mix water adjustment is essential to account for the water in FORCE 10,000 and thus maintain the desired water/cement ratio. The mix water added at the batch plant must be reduced by 5.8 lbs (0.7 kg/l) of water per gallon of FORCE 10,000.

FINISHING AND CURING OF SLABS:

FORCE 10,000 concrete can be used in flatwork with little or no modification to the recommended practices outlined in ACI 302, "Guide for Concrete Floor and Slab Construction."

FORCE 10,000 will reduce the surface bleed water of concrete in large applications. ACI 308, "Standard Practice for Curing Concrete", must be followed to ensure that any problems that can occur due to decreased bleeding are minimized. Your Grace representative is available to review your particular job needs.

PRECONSTRUCTION TRIAL MIX:

It is strongly recommended that trial mixes be made several weeks before construction start up. This will allow the concrete producer an opportunity to determine the proper batching sequence and amounts of other admixtures needed in order to deliver the required concrete mix to the jobsite. A trial mix will also help determine whether the combination of concrete materials and construction practices will allow the concrete to meet a specified performance. Grace's broad experience with this product can help the concrete producer deliver a satisfactory product regardless of the mixture proportions. Contact your Grace salesman for help with trial mixes.

DISPENSING FORCE 10,000:

Dispensing equipment for the liquid FORCE 10,000 will be provided by Grace Construction Products.

PACKAGING/AVAILABILITY:

FORCE 10,000 is available in bulk via Grace delivery vehicles. It is also available in 55 gal (275 l) drums.

FREEZING POINT:

FORCE 10,000 will freeze at approximately 32°F (0°C). Care should be taken to prevent FORCE 10,000 from freezing, since once frozen the admixture is no longer usable.

FLAMMABILITY:

None.

Copyright 1993, W.R. Grace & Co.-Conn.

We have the information given here will be helpful. It is based on data and knowledge considered to be true and accurate and is offered for the user's consideration, investigation and verification but we do not warrant the results to be obtained. Please read all statements, recommendations or suggestions in conjunction with our conditions of sale which apply to all goods supplied by us. No statement, recommendation or suggestion is intended for any use which would infringe any patent or copyright. Construction Products Division, W.R. Grace & Co.-Conn., 62 Whittemore Avenue, Cambridge, MA 02140.

GRACE
Construction Products

CRD C 119-53

METHOD OF TEST FOR FLAT AND ELONGATED PARTICLES IN COARSE AGGREGATE

Scope

1. This method of test outlines procedures for the determination of flat and elongated particles in coarse aggregate for concrete.

Definitions

2. (a) Flat Particle.- A flat particle is one having a ratio of width to thickness greater than three (Note).

(b) Elongated Particle.- An elongated particle is one having a ratio of length to width greater than three (Note).

Note.- Length (L), width (W), and thickness (T) are, respectively, the greatest, intermediate, and least dimensions of any particle, as measured along mutually perpendicular directions. Strictly they should be considered as the principal dimensions of the circumscribing rectangular prism. The definitions give the criterion of a ratio of three. One type of apparatus described below enables detection of greater or lesser degrees of flatness and elongation to be made by permitting determinations of whether particles have width:thickness or length:width ratios greater than two and five. These definitions are based on those given in A.S.T.M. Designation: C 123.

Apparatus

3. (a) The apparatus used in this test shall consist of any suitable equipment, by means of which aggregate particles may be tested for compliance with the definitions given in Sec. 2 above. One type of apparatus is described below.

(b) Proportional Caliper Device.- The proportional caliper device is illustrated in Figs 1 and 2. It consists

Developed by the Concrete Research Division, West Coast Experiment Station, Corps of Engineers, Fort Belvoir, St. Louis, Mo.

of a base with two fixed posts and a swinging arm between them. The axis (thumb screw) on which the arm swings is positioned so that the openings between the ends of the arms and the fixed posts maintain a constant ratio. The model illustrated has three positions, by the use of which openings in the ratios of 1:2, 1:3, and 1:5, respectively, may be obtained.

(c) Balance.- A balance or scales sensitive to 0.5 per cent of the weight of the sample to be weighed (Note).

Note.- A balance will not be required when percentage is to be based on count as described in Sec. 4(d).

Procedure

4. (a) A representative sample of the supply of each size of coarse aggregate to be tested shall be selected, sieved, and reduced by quartering and/or splitting until approximately 100 particles are obtained (Note) of each sieve size larger than the 3/8-in. sieve present in the amount of 10 per cent or more of the sample.

Note.- Larger samples consisting of approximately 100 particles may be used when more precise data are required.

(b) Each of the particles in the sieve-size sample shall be tested, using the testing device, and segregated into one of three groups: (1) Flat, (2) Elongated, (3) Not flat or elongated (Note).

Note.- If desired, a fourth group, comprising particles that are both flat and elongated, may be separated. When any one of the proportional caliper type is used, the percentage of particles found to be flat or elongated, using a ratio of 1:2, may be detected at a ratio of five, and the percentage of particles found to be not flat or elongated may be detected at a ratio of two, thus permitting the segregation of particles to express each of flatness and elongation.

2 FLAT, ELONGATED PARTICLES IN COARSE AGGREGATE (C 119-53)

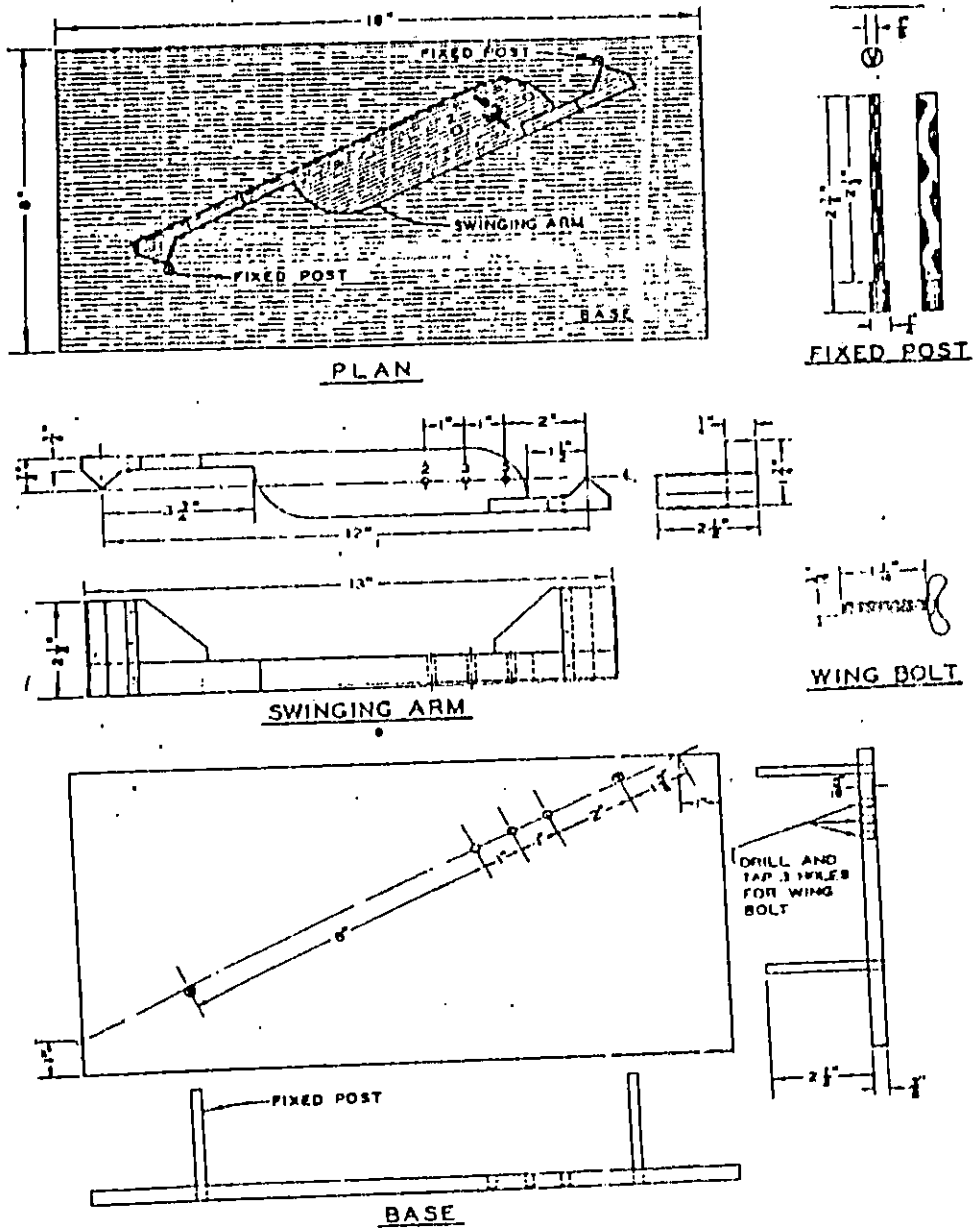


Fig. 1. Proportional caliper

(c) The specific procedure for use with the proportional caliper device shall be as follows:

(1) Test for Elongation.- Set the larger opening equal to the length of the particle. If the width of the particle can be placed within the smaller opening, the particle is elongated.

(2) Test for Flatness.- Set the larger opening equal to the width of the particle. If the thickness of the particle can be placed within the smaller opening, the particle is flat.

(d) When the particles in the sample have been classified into groups listed in subparagraph (b) above, the portion of the sample in each group shall be determined by count or by weight (Note).

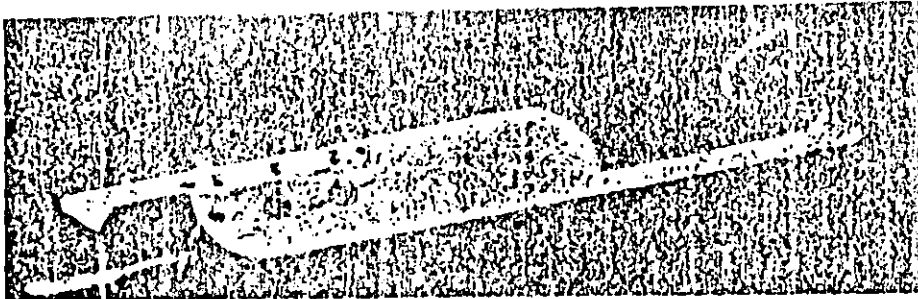
5. (a) The results of the test shall be calculated as indicated in the following examples. Results in percent shall be reported to the nearest 1.0 percent. When weighted averages are calculated, based on actual or assumed proportions of the several sieve sizes in a size range, sieve sizes not tested shall be assumed to have the same percentages of flat and elongated particles as the average of the next smaller and the next larger.

(b) For use in the field it is believed that a count of the number of particles in each category will provide adequate information and the necessity of providing facilities for weighing will be avoided. For laboratory testing, determinations by weight may be made if desired.

Calculation

Fig. 2. Use of proportional caliper

b. Test for Flatness



a. Test for elongation



FLAT, ELONGATED PARTICLES IN COARSE AGGREGATE (C 119-53) 3

C 119

4 FLAT, ELONGATED PARTICLES IN COARSE AGGREGATE (C 119-53)

larger sizes, or, if one of these sizes is absent, it shall be considered to have the same percentage as the next larger or next smaller size, whichever is present. Gradations used for calculating weighted averages shall be computed omitting material finer than the 3/8-in. sieve.

(b) The following example represents the calculations when the test is made by number and weighted averages are not required:

Sieve	Grading, Individual % Retained	Material Tested, No.	Results of Test							
			Flat		Elongated		Not Flat or Elongated		Total Flat or Elongated	
			No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
1 in.	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3/4 in.	5	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1/2 in.	28	124	20	16	2	2	102	82	22	18
3/8 in.	24	114	26	23	1	1	87	76	27	24
No. 4	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Passing No. 4	3	--	--	--	--	--	--	--	--	--

(c) The following example represents the complete calculations required when the test is made both by number and by weight and when weighted averages are required.

Report

6. (a) The report shall include: (1) Adequate identification of the coarse

aggregate tested.

(2) Percentages, given to the nearest 1.0 per cent, for (a) Flat particles, (b) Elongated particles, (c) Total flat and elongated particles; in each sieve size tested, calculated by weight or by number or both.

(3) The number of particles of each sieve size tested.

(4) The criterion or criteria used if other than 3:1.

(5) When required, weighted aver-

age percentages based on the actual or assumed proportions of the several sieve sizes in a size range.

(b) When values for percentage of flat and elongated particles have been calculated both by number and by weight and a single value is required, as for determination of compliance with a specification limit; or in case of dispute, the percentage by weight shall be the value taken.

Siege in	Grating, In.		Material		Results of Test										Weighted Avg Percentages				Total Flat or Elongated Per Cent								
	Sample Selected on		No. of Tests	Wt. % Retained	By Weight					By Number					Flat or Elongated				by Wt	by No.							
	Portion	Part			Flat		Elongated		Flat		Elongated		Flat		Elongated												
					%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.											
1	5	0.5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---					
1/4	5	8.5	---	---	---	(29.4)	---	(3.8)	---	(46.8)	---	(23.0)	---	(3.0)	---	(39.1)	4	5	0	0	5	4	---	---	4	5	
1/2	25	67.1	485	100	277.5	69.6	18.4	1.8	225.5	46.8	56	16.0	3	3.0	19	39.1	26	29	2	1	23	19	53	61	26	30	
3/4	25	42.1	658	300	320.8	51.1	134.5	21.4	172.7	27.5	156	22.0	35	12.7	76	25.7	21	26	9	5	12	11	72	75	30	31	
No. 4	45	5.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 4	2	6.5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		100	100.0																	60	56						

* This size not tested since it included less than 10 per cent of the sample, assumed to have the same percentages of flat and elongated particles as next smaller size, as indicated by values in parentheses.

BIBLIOGRAFIA

- "Diseño y Control de Mezclas de Concreto" Insituto Mexicano del Cemento y el Concreto, AC. Steven H. Kosmatka y William C. Panarese, Primera Edición 1992.
- ACI-120, "Durabilidad del Concreto", Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, A.C., México, Editorial Limusa, Cuarta Impresión 1988.
- Curso Teórico Práctico "Tecnología del Concreto", ASIA-FEPADE, Marzo 1992.
- "Aditivos para Concreto" ACI-212, Instituto del Cemento y el Concreto, A.C., Editorial Limusa, Primera Edición, México 1990.
- "Aditivos Superplastificantes para Concreto", Instituto del Cemento y el Concreto, A.C., Editorial Limusa, Primera Edición, México 1990.
- "Práctica para Dosificar Concreto Normal, Concreto Pesado y Concreto Masivo", ACI-211, Instituto del Cemento y el Concreto, A.C., Editorial Limusa, Primera Edición, México 1989.
- "Estudio de Concretos con Alta Resistencia a la Agresión Provocada por la Contaminación del Medio Ambiente", Parte I, José Alfredo Aguilar Coto y Oscar Mauricio Armando Reinoso Lozano, Tesis de Graduación, Universidad de El Salvador, Julio 1994.

- "Comportamiento de concretos a base de cementos puzolánicos muy finos". Manuel Antonio Aguilar Escalante, Mirna Elizabeth Arévalo Padilla y otros. Tesis de Graduación, Universidad Centroamericana "José Simeon Cañas", Marzo 1988.
- "Concreto Reforzado", Edward G. Nawy, Primera edición en español, Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., México 1988.
- Revista Cemento-Hormigón No. 709. "Composición y Dosificación de los Hormigones de Alta Resistencia". Manuel Fernández Canovas y Pilar Alaejos Gutiérrez.
- Revista Cemento-Hormigón No. 730. "Hormigones de Alta Performance", Juan y Forio Buchas.
- Revista ASIA No. 101. "Selección y Uso de Agregados para Concretos".
- Revista ASIA No. 108. "Método Estandar de Ensayo para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto".
- Revista ASIA No. 109. "Desmitificando el Concreto de Alto Comportamiento" por Aitcin y Adam Neville.
- Revista Cemento-Hormigón No. 733. "El Hormigón de Alta Resistencia en la EP-93".

- Memorias Técnicas, Construcción II, Tomo 3. Reunión del Concreto 1992, Colombia.
- Annual Book of ASTM Standards, Part 14, Filadelfia.
- División de Investigaciones, W.R. Grace & Co. Columbia, Maryland, USA.
- Concreto Impermeable. Concrete Technology-Today, PCA.
- "Control de Calidad del Concreto" ACI 704, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., Editorial Limusa, Octava Reimpresión, México 1988.
- Publicación "Realism in the Application of ACI Standard 214-65".