

TUES
1501
A283
1994

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

E/2

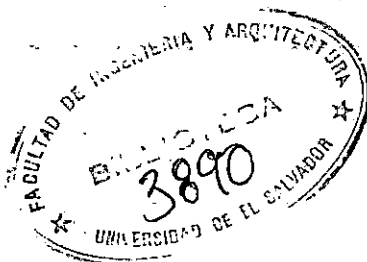


ESTUDIO DE CONCRETOS CON ALTA RESISTENCIA A LA AGRESION PROVOCADA POR LA CONTAMINACION DEL MEDIO AMBIENTE.

TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR:

JOSE ALFREDO AGUILAR COTO

OSCAR MAURICIO ARMANDO REINOSA LOZANO



PARA OPTAR AL TITULO DE:

15101667 15101667

INGENIERO CIVIL

JULIO DE 1994

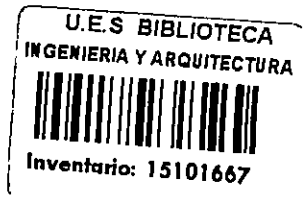
SAN SALVADOR

EL SALVADOR

CENTRO AMERICA

R/28/7/94

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



RECTOR:

DR. FABIO CASTILLO FIGUEROA

SECRETARIO GENERAL:

LIC. MIRNA ANTONIETA PERLA DE ANAYA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

Ing. JOAQUIN ALBERTO VANEGAS AGUILAR

SECRETARIO:

Ing. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR:

Ing. JULIO EDGARDO BONILLA ALVAREZ

**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 CONCRETOS CON ALTA RESISTENCIA A LA
AGRESION PROVOCADA POR LA CONTAMINACION
DEL MEDIO AMBIENTE**

PRESENTADO POR:

JOSE ALFREDO AGUILAR COTO

OSCAR MAURICIO ARMANDO REINOSA LOZANO

TRABAJO DE GRADUACION APROBADO POR:

COORDINADOR Y
ASESOR


Ing. PORFIRIO LAGOS VENTURA



ASESOR


Ing. JULIO EDGARDO BONILLA ALVAREZ

ASESOR


Ing. ROLANDO AMAYA De LEON

SAN SALVADOR, JULIO DE 1994

AGRADECIMIENTOS.

A nuestra querida Alma Mater y máximo centro de estudios del país " **UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR** " por habernos formado como profesionales capaces, al servicio de nuestra patria y de quienes más lo necesitan.

Deseamos patentizar por este medio nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que de manera solidaria y desinteresada aunaron esfuerzos por ayudarnos a consolidar nuestra formación académica y profesional. En especial a las empresas e instituciones como:

Centro Salvadoreño de Información de Cemento y Concreto (CESSIC)

Cementos de El Salvador S.A. (CESSA)

SIKA Service de El Salvador (Ing. Villavicencio)

Concretera Salvadoreña

Empresas que sin su apoyo económico y técnico, hubiese sido muy difícil llegar a buen término esta investigación, por su ayuda visionaria, muchas gracias.

Por el aliento y la pujanza para seguir adelante en el largo recorrido de nuestra carrera. Por la fe y esperanza que nos tuvieron para ver coronar una de nuestras más ansiadas metas, razón por la cual nos sentimos comprometidos a realizar el ejercicio profesional de la mejor manera posible. Agradecemos en especial a:

TODOS LOS MAESTROS QUE EN SU OPORTUNIDAD NOS ORIENTARON CON SU CONOCIMIENTO Y ENSEÑANZAS TEORICO-PRACTICAS EN EL TRANCURSO DE NUESTRA FORMACION ACADEMICA.

al **ING. PORFIRIO LAGOS VENTURA:**

Nuestro Coordinador y Asesor del Trabajo de Graduación, por su valiosa colaboración y oportuna orientación que constantemente nos brindó.

a los **ING. ROLANDO AMAYA de LEON, e**

ING. JULIO BONILLA ALVAREZ:

Nuestros Asesores del Trabajo de Graduación, por la ayuda brindada, sin la cual hubiera sido más difícil el desarrollo del presente trabajo.

A TODOS USTEDES: MUCHAS GRACIAS !!!!

DEDICO ESTE TRIUNFO:

"Porque Jehová dá la sabiduría
y de su boca viene el conoci-
miento y la inteligencia."

Proverbios 2:6.

A *El Shaddai*, porque siempre está a mi lado y ha guiado mis pasos hacia un camino de excelencia

A **Mis Padres: Jesús Aguilar y Julia Coto**, porque el triunfo que he conseguido es suyo también, por su sacrificio y ayuda sin la cual no hubiese podido coronar esta meta.

a **Tirza Lourdes**, porque tuvo la paciencia y el amor para esperar que corone una meta importante en mi vida.

a **José David, Elisa Beatriz, y Héctor Benjamín**, porque les robé del tiempo destinado a compartirlo juntos.

a **Mis hermanos y demás familia** por haberme apoyado en los momentos difíciles

a **Mis compañeros de trabajo**, que supieron brindar su ayuda desinteresada cuando más la necesité, en especial al Ing. **Roberto Salazar**, Ing. **Diógenes Chévez**, **Keryme Aymé Manzúr**, **Nubia Lorena Morales**, y a todos mis demás compañeros, **Gracias**.

FINALMENTE A TODAS LAS PERSONAS QUE NO MENCIONO POR NOMBRE, PERO ME HAN APOYADO. GRACIAS

José Alfredo

DEDICATORIA.

QUIERO AGRADECER AL SER TODOPODEROSO POR PERMITIRME CORONAR
ESTA CARRERA.

DEDICO ESTE TRIUNFO A:

-MIS PADRES ARMANDO REINOSA Y MARIA TERESA CON CARÍO Y
GRATITUD POR SUS CONSEJOS Y APOYO DURANTE TODA MI VIDA.

-MIS HERMANOS POR SU AYUDA Y ALIENTO QUE ME BRINDARON.

-MI COMPAÑERA ROXANA CON CARÍO Y AMOR

DESEO PATENTAR MIS AGRADECIMIENTOS POR ESTE MEDIO A TODA
PERSONA QUE COLABORO CONMIGO EN FORMA DESINTERESADA
DURANTE EL TRANCURSO DE MI FORMACION PROFESIONAL.

ARMANDO

INDICE.

PAGINA

CAPITULO I. INTRODUCCION

1.1 GENERALIDADES	1
1.2 ANTECEDENTES	4
1.3 PLANTEAMIENTO Y DELIMITACION DEL PROBLEMA	13
1.4 JUSTIFICACION DEL TRABAJO	14
1.5 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS DEL ESTUDIO	16
1.6 ALCANCES <i>DELTA</i>	18
1.7 LIMITACIONES <i>DELTA</i>	19

CAPITULO II. TECNOLOGIA DEL CONCRETO

2.1 NOCIONES GENERALES	20
2.2 COMPONENTES	20
2.2.1 PASTA DE CEMENTO	21
2.2.1.1 COMPORTAMIENTO DE LA PASTA	21
2.2.1.2 COMPORTAMIENTO REOLOGICO	23
2.2.1.3 CEMENTO	27
2.2.1.4 AGUA	36
2.2.1.5 AIRE INCLUIDO	38
2.2.1.6 ADITIVOS	39

2.2.2 AGREGADOS	43
2.2.2.1 CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS AGREGADOS	44
2.2.2.2 PROPIEDADES PARA LA DOSIFICACION DE LA MEZCLA	49
2.2.2.3 PROPIEDADES COMPLEMENTARIAS	56
2.3 FUNDAMENTOS IMPORTANTES	55
2.4 PROPIEDADES DEL CONCRETO	58
2.4.1 CONCRETO FRESCO	58
2.4.2 CONCRETO ENDURECIDO	62
2.4.2.1 DURABILIDAD	62
2.4.2.2 IMPERMEABILIDAD	63
2.4.2.3 RESISTENCIA MECANICA	63
2.4.2.3.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION	64
2.4.2.3.2 RESISTENCIA A LA ABRASION	64
2.4.2.3.3 RESISTENCIA A LA TENSION	67
2.4.2.4 RESISTENCIA QUIMICA	68
2.5 CONCRETO EN EL SALVADOR	70
2.5.1 METODOS DE ELABORACION	71
2.5.1.1 MANUAL	72
2.5.2.2 MECANICO	72
A) MEZCLADORAS MANUALES	73
B) EQUIPOS DE PREMEZCLADO POR PESO	73
2.5.2 DOSIFICACION	74

2.5.3 MANIPULACION Y COLOCACION DEL CONCRETO	75
2.6 CURADO DEL CONCRETO	79

CAPITULO III
CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO

3.1 INTRODUCCION	80
3.2 NOCIONES GENERALES	81
3.3 PARAMETROS IMPORTANTES EN EL CGC	84
3.3.1 RELACION A/C	84
3.3.2 PROPORCION OPTIMA DE AGUA/CEMENTO	86
3.3.3 MATRIZ DEL CONCRETO	88
3.4 COMPONENTES DE LA MEZCLA	90
3.4.1 CEMENTO	90
3.4.2 SUPERPLASTIFICANTE	93
3.4.3 COMPATIBILIDAD ENTRE CEMENTO Y SUPERPLASTIFICANTE	93
3.4.4 AGREGADOS	102
3.4.5 ADICIONES MINERALES	107
3.4.5.1 MICROSILICA	107
a) EFECTO DE LA MS SOBRE EL CONCRETO FRESCO	110
b) EFECTO DE LA MS SOBRE EL CONCRETO ENDURECIDO	112
c) MEJORA EN LAS CARACTERISTICAS DEL CONCRETO	114

c.1) RESISTENCIA A LA COMPRESION	114
c.2) PERMEABILIDAD	118
c.3) DURABILIDAD	120
c.4) RETRACCION	120
c.5) CALOR DE HIDRATACION	121
c.6) MODULO DE ELASTICIDAD	121
d) MANEJO Y COLOCACION DEL CONCRETO CON MS	122
e) CURADO DEL CONCRETO CON MS	124
f) CONSIDERACIONES AL USO DE CONCRETO CON MS	125
3.4.6.2 CENIZA VOLANTE	126
3.5 PROPIEDADES REOLOGICAS DEL CGC	127
3.6 COLOCACION Y MANEJO DEL CGC	128

**CAPITULO IV
PRUEBAS DE LABORATORIO**

GENERALIDADES	131
4. PRUEBAS DE LABORATORIO	132
4.1 PRUEBAS A LOS COMPONENTES	134
4.1.1. CEMENTO	134
4.1.2. AGREGADO FINO	136
4.1.2.1. IMPUREZAS ORGANICAS EN ARENA PARA CONCRETO	139
4.1.2.2. ANALISIS GRANULOMETRICO	139
4.1.2.3. PESO UNITARIO	150

4.1.2.4. GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION	153
4.1.2.5. CONTENIDO DE HUMEDAD	156
4.1.3. AGREGADO GRUESO	158
4.1.3.2. ANALISIS GRANULOMETRICO	160
4.1.3.3. PESO UNITARIO	166
4.1.3.4. RESISTENCIA AL DESGASTE	167
4.1.3.5. GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION	164
4.1.4. SUPERPLASTIFICANTE	168
4.1.5. MICROSILICA	169
4.2. PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO	171
4.2.1. MEZCLAS DE PRUEBA	171
4.5. CONCRETO FRESCO	186
4.6 CONCRETO ENDURECIDO	189
4.6.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION	190
4.6.2 RESISTENCIA A LA TENSION INDIRECTA	209
4.6.3 ENSAYO DE DURABILIDAD	210

CAPITULO V
ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 COMPONENTES	216
5.1.1 AGREGADOS FINOS	216
5.1.2 AGREGADO GRUESO	218
5.1.3 ADITIVOS	220
5.2 MEZCLAS DE PRUEBA	221
5.2.1 CONCRETO FRESCO	222

5.2.2 MANEJO Y COLOCACION	223
5.2.3 CONTROL	223
5.3 CONCRETO ENDURECIDO	224
5.3.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION	226
5.3.2 DURABILIDAD	230
CONCLUSIONES	232
RECOMENDACIONES	234
ANEXOS Y FOTOGRAFIAS	237
BIBLIOGRAFIA	261

CAPITULO I INTRODUCCION

1.1 GENERALIDADES.

Al transcurrir el siglo XX, con el aumento de la población mundial y la industrialización, el planeta Tierra se ha visto envuelto en un proceso acelerado de contaminación del medio ambiente; los primeros efectos fueron detectados en los países desarrollados, pero en la actualidad hasta en países subdesarrollados como lo es El Salvador, la contaminación está generando problemas difíciles de resolver; debido a lo extenso y complejo que resulta este fenómeno.

En la actualidad, la tecnología del concreto y de la construcción se ha desarrollado tanto, que para adecuar el medio en que se desarrolla la humanidad, ha sido necesario investigar no solo las resistencias mecánicas del concreto, sino también la resistencia a la agresión provocada por la contaminación del medio ambiente.

Por esta razón el presente trabajo centra su estudio, en una de las alternativas que existen para crear concretos que posean la característica de ser resistentes a esta agresión.

La investigación está enfocada al estudio de un tipo especial de concreto denominado: *CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO*. El cual aparte de su alta resistencia a la

compresión; posee otras características como lo son alta densidad, baja permeabilidad, etc. que lo ubican como una alternativa en proyectos de ingeniería civil que requieran de materiales con características especiales como alta resistencia mecánica, mayor resistencia al ataque de sulfatos, ácidos y sales, baja permeabilidad, etc., que lo vuelvan más resistente y durable.

En los últimos años, después de los conflictos de la sociedad salvadoreña y los cambios producidos alrededor del mundo entero, el reto de la reconstrucción nacional y la creación de las condiciones para el desarrollo del país se convierten en una enorme tarea que debe intentar resolverse en forma conjunta, interdisciplinaria e integral.



Una de las alternativas para lograr esta meta, es adecuar los avances tecnológicos desarrollados en el extranjero a las condiciones nacionales, para atender con éxito esta alternativa es preciso e indispensable realizar investigaciones y análisis continuos con el fin de establecer los posibles beneficios y consecuencias de la inserción de estos avances en El Salvador, en vista de lo anterior, con el estímulo apoyo y orientación de catedráticos que forman parte de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, así como de profesionales y empresas con reconocido interés y experiencia en el desarrollo de investigaciones en el área de concretos, el presente seminario de graduación pretende investigar, recopilar y evaluar los conocimientos disponibles en los Concretos de Gran Comportamiento, que servirán de base para realizar pruebas de laboratorio con el fin de evaluar la posibilidad de la fabricación con

materiales nacionales y productos distribuidos en el país, así como determinar algunas propiedades de estos concretos.

Se advierte que la comprensión de lo expresado en este documento requiere un conocimiento básico, pero sólido en el área de concretos, para asimilar de manera eficiente la información referente a este tipo de concreto, pues en la actualidad aún en los países desarrollados se encuentra en su fase de investigación e introducción a la industria de la construcción de esos países.

Para finalizar se espera que este esfuerzo permita un mejor conocimiento de los recursos existentes en el medio nacional, así como sentar las bases en el área de la investigación de la Universidad de El Salvador para este tipo de concreto.

1.2 ANTECEDENTES.

El concreto es un material utilizado en la mayoría de obras civiles, y se ha usado desde tiempos muy antiguos.

Los primeros estudios científicos referentes al comportamiento del concreto, datan del siglo XIX.

El desarrollo de la industria del concreto ha sido un proceso lento. Los descubrimientos más notables en este campo han sido quizá la relación agua/cemento en el año de 1918, y la introducción de aire en el concreto en 1938.¹

Fue en 1912, que en El Salvador se inició una nueva época en la construcción al introducirse el concreto armado ²; sistema monolítico y antisísmico, utilizado en edificios ubicados en el centro de la capital como: el Teatro Nacional, la Ferretería Bou, el Telégrafo Nacional, la Escuela Normal (Ahora Casa Presidencial), etc.; y otros en el interior de la república como: la Torre de San Vicente, el Palacio Municipal de Usulután, etc.

¹ Moreno Jaime, "Concreto de Gran Comportamiento (High-Performance Concrete)", Revista ASIA n°106 Diciembre 1992. Pág. 34

² "Entrevista con el Ing. Carlos Varaona Villaseñor", Revista ASIA n° 94 Diciembre de 1989. pág. 15-20.

Actualmente en el país el concreto reforzado es el material más utilizado en la mayoría de la obras civiles, y es común encontrar elementos diseñados utilizando concretos que posean $f'c$ entre los 180 a los 280 kg/cm^2 .

En El Salvador, resistencias mayores a los 280 Kg/cm^2 en los concretos, no son usuales, excepto los utilizados en elementos presforzados, los cuales se diseñan con resistencias hasta de 350 Kg/cm^2 ; por lo que se puede afirmar que los Concretos de Gran Comportamiento, nunca han sido utilizados en el país.

En otros países por más de un siglo, el concreto estructural ha sido producido de manera rutinaria con resistencias a los 28 días en el rango de los 200 a 300 kg/cm^2 . Ocasionalmente cuando circunstancias especiales lo requerían, concretos de mayores resistencias fueron fabricados, y el concreto así producido era llamado: "*CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA*". Hace unos 30 años el nombre de concretos de alta resistencia, era aplicado a concretos con más de 400 kg/cm^2 , llegando hasta los 600 kg/cm^2 .³

Sin embargo, hace poco tiempo la industria química, ha desarrollado productos especiales para ser aplicados en el concreto como: acelerantes, retardantes, inclusores de aire, etc. que generan efectos especiales en algunas propiedades del concreto fresco y endurecido; estos productos son conocidos hoy en día como aditivos.

³ Aitcin, P. C.; and Neville A. "High-Performance Concrete Demystified" Revista:Concrete International, Enero 1993, pág. 21

Además al combinar el uso de estos aditivos, con otros materiales cementantes tales como: la puzolana, la microsíllica, las cenizas volantes (fly ash), etc. se ha logrado desarrollar concretos de características especiales, entre las que se destacan las siguientes:

- Facilidad de colocación y consolidación sin segregación.
- Propiedades mecánicas especiales a corta y larga edad.
- Alta resistencia.
- Gran resistencia al impacto y a la abrasión.
- Gran estabilidad de volumen.
- Gran durabilidad.
- Mayor densidad, etc.

A esta generación de concretos, se les denomina "*Concretos de Gran Comportamiento*" (C. G. C.), y ofrecen nuevas expectativas en áreas especializadas de la Ingeniería Civil, especialmente el de la investigación.

Como resultado de los trabajos de investigación sobre los C.G.C., desarrollados en otras naciones, en países como Japón, Canadá, Noruega, Francia y los E.U.A., se está incrementando el uso de estos concretos. Sin embargo, fue hasta Mayo de 1990 que el American Concrete Institute (ACI) y el National Institute of Standar and Technology (NIST), efectuaron una reunión para identificar los elementos de un plan nacional coordinado para el desarrollo y uso del C.G.C., en los E.U.A.

De dicha reunión se concluyó, que para desarrollar estos concretos como una tecnología aceptable, es necesario coordinar programas de investigación y la transferencia de información a los usuarios.

En los últimos 15 años, en países muy desarrollados, se han producido concretos de 1000 Kg/cm² y más, para ser utilizados en puentes y rascacielos, debido principalmente a su gran resistencia a la compresión, pero en países en los que existen variaciones bruscas de temperatura entre las estaciones del año, este concreto se utiliza por su alta resistencia al ataque del medio ambiente, principalmente por su baja permeabilidad.

idea → Debido a que en El Salvador aún no han sido utilizados los CGC, se mencionan algunos proyectos en el extranjero, en los cuales se ha utilizado estos concretos:

Material Service Corporation de Chicago, empezó con el concepto de Concreto de Gran Comportamiento diseñado desde el momento que el Código de Requerimiento de Concreto Reforzado para edificios (Building Code Requirements For Reinforced Concrete, ACI 318-77) dio la opción de usar la historia estadística de una planta como aceptación de las mezclas de concreto. Con este concepto se han diseñado y entregado Concretos de comportamiento para la mayoría de los edificios altos de Chicago. Por ejemplo, el diseñado para los pilotes y concreto liviano para el edificio **John Hancock**; concreto liviano para el garage del aeropuerto de **O'Hara**; concreto liviano para los 110

pisos del edificio más alto del mundo, **la torre Sears**⁴.

La **Water Tower Place**,(Chicago, 1975) Se construyó con CGC antes de usar superplastificantes. Este edificio posee 74 pisos donde se utilizó concreto liviano de alta resistencia; y hasta 1990, fue el edificio de concreto más alto del mundo.

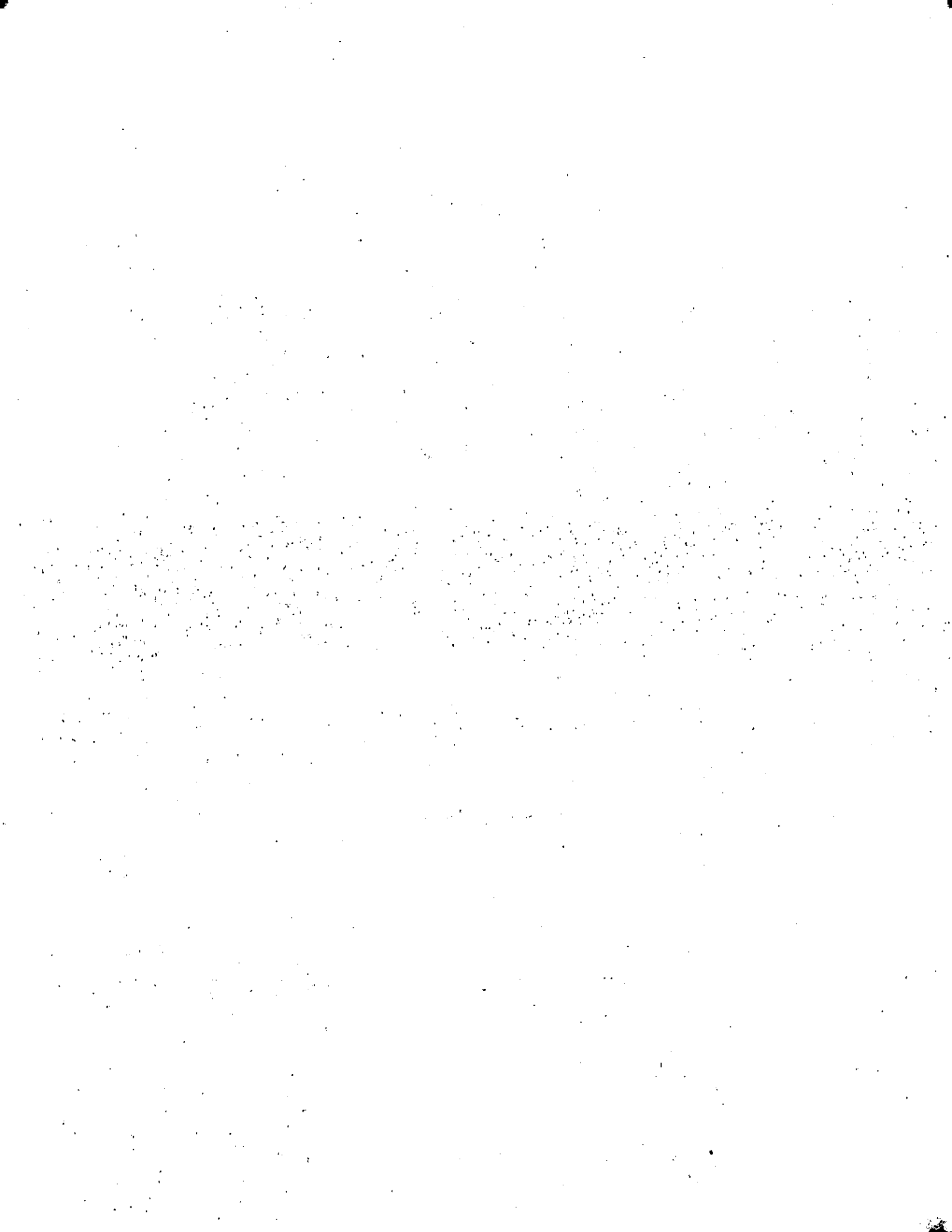
Joigny Bridge (Francia 1989), fue construido usando el CGC sin polvo de sílice; esto se hizo para demostrar que el CGC puede ser producido y usado en construcción, aun cuando no sea económicamente factible obtener microsíllica, pues este aditivo resulta caro.

Laurentienne Building (Montreal,1984) Tiene dos columnas experimentales en las cuales el CGC contiene superplastificante y un agente retardador. Esto fue necesario porque solo existía un cemento disponible, y tenía propiedades reológicas problemáticas, además el tiempo de entrega del concreto era largo.

la **Scotia Plaza** en Toronto Canadá se construyó usando un CGC que contenía tanto ceniza volante, como microsíllice.

la **Two Union Square**, en Seattle USA (1988), en la que se usó el concreto con la

⁴ Moreno Jaime, Concreto de Gran Comportamiento (High Performance Concrete)" Revista Asia n° 106, Diciembre 1992



resistencia más alta, que haya sido utilizado en una construcción⁵.

Otros ejemplos importantes en el uso del CGC son:

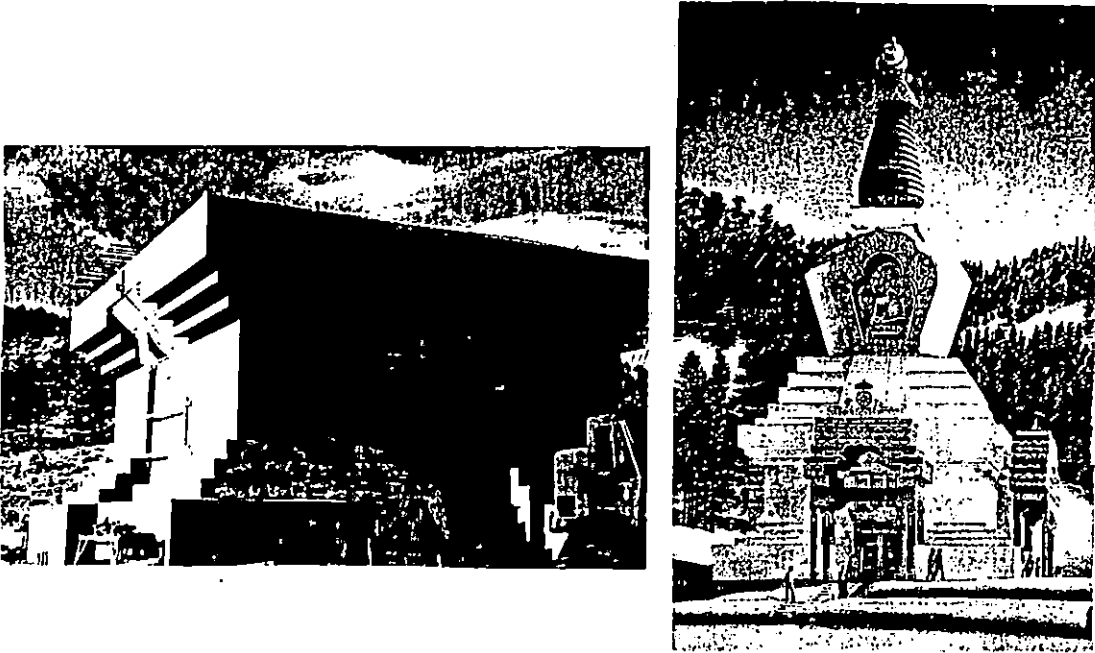


Fig 1.1 En la fotografía, puede observarse la estructura del Gran Stupa de Dharmakaya

El **Gran Stupa de Dharmakaya**, en Fort Collins, Colorado (1991) Que es una estructura de tres niveles y 30 mts. de altura, incluye un santuario a Buda, reliquias y estatuas que forman parte de la religión budista (ver figura 1.1). Estructura diseñada con el criterio que dure muchos años, optimistas de que el medio ambiente de las Montañas Rocosas unidas al CGC, la conviertan en un monumento que sea visto hasta las últimas generaciones.

⁵ Aİtcin, P. C.; and Neville A. "High-Performance Concrete Demystified" Revista:Concrete International, Enero 1993, pág. 20-21

El **Depósito provisional para manejar desechos**, en Oak Ridge, Tennessee en 1992, consiste en un receptáculo diseñado para guardar desechos radioactivos, y que será luego sellada al llenarse con la carga de elementos radioactivos, para disminuir el peligro de contaminación de estos desechos.

La **Planta Papelera Federal**, en Wilmington, N.C. (USA) que fue terminada en 1991. estas plantas, son ambientes muy agresivos para el concreto por los ácidos utilizados en la producción del papel, ya que estos pueden penetrar el concreto y crear zonas débiles que rompan el concreto. El mecanismo de ataque crea reacciones con el hidróxido de calcio presente en el concreto, que es transformado en sales solubles por los ácidos, y luego son disueltas dañando el concreto.

La **estructura móvil para perforación SUPER CIDS**⁶, construida en 1984, fue diseñada por Glomar Beaufort Sea I (Super Cids), como una plataforma para perforaciones en el medio ambiente ártico, con cargas de hielo que pueden resquebrajar las estructuras. En esta obra se utilizó concreto liviano de alta resistencia (ver figura 1.2 en pág. 10).

Finalmente, en Australia se utiliza concretos de 700, 800 y aún 900 kg/cm², ejemplo

⁶ "High Performance Concrete Meets Stringent Requirements", Revista Concrete Construccion, Mayo 1992. págs. 371-374

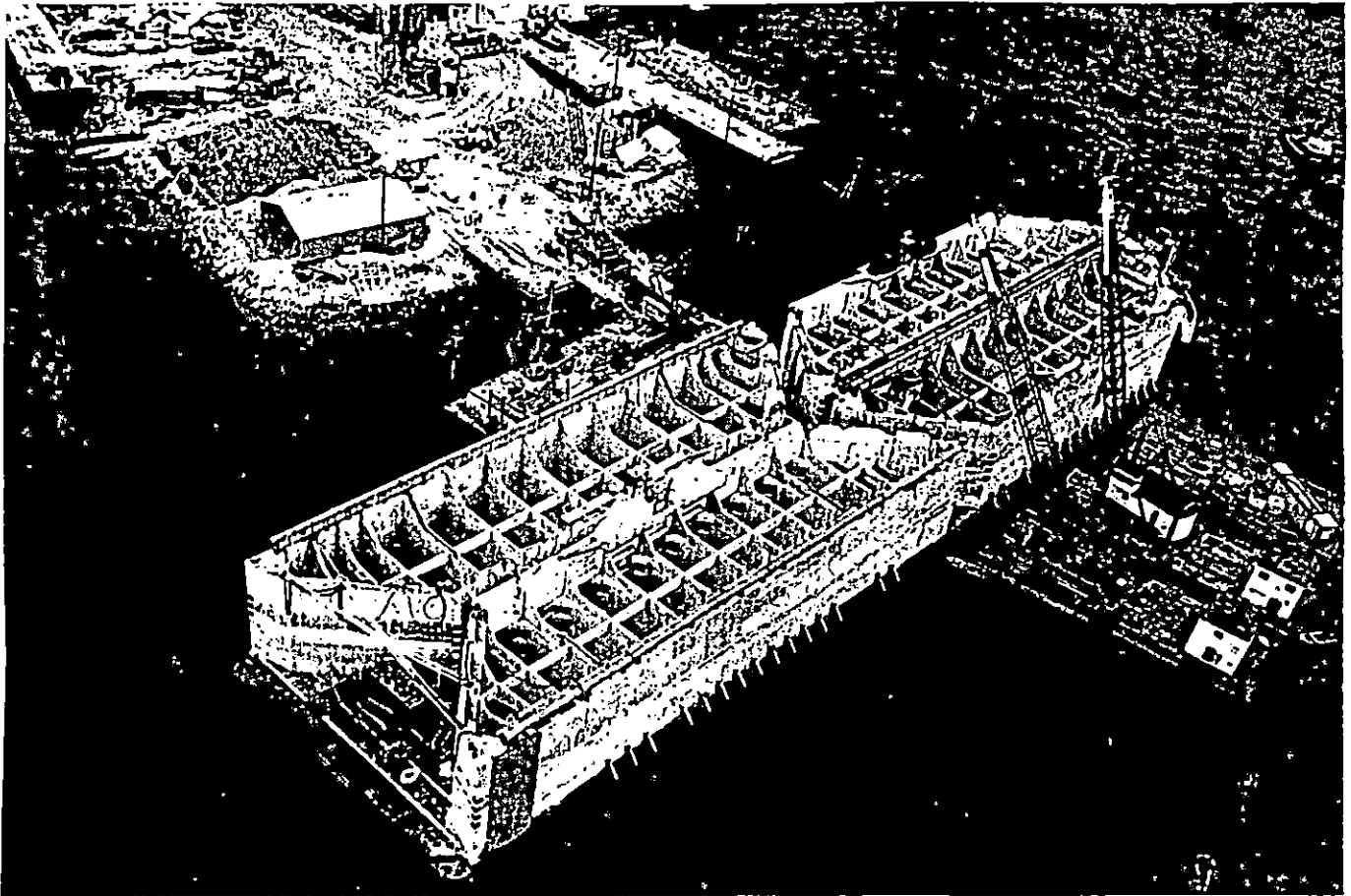


Fig. 1.2 La plataforma para perforación SUPER CIDS esta construida a base de concreto liviano de gran comportamiento, y será usada en el ártico bajo condiciones climáticas muy adversas de ello es el edificio Casselden Place, en Melbourne⁷

→ Por las anteriores descripciones del CGC, éste se presenta como una tecnología de avanzada que debe permitir un rápido desarrollo del uso del concreto como elemento básico de la construcción. Gracias a ella se ha conseguido, en pocos años, lo que no había sido posible en décadas de investigación y desarrollo. Los Ingenieros calculistas y los constructores de países desarrollados están cambiando muchos de sus criterios de

⁷ John Webb, "High-Strength Concrete: Economics, Design and Durability", Revista Concrete International, Enero 1993, pág. 27

trabajo tales como dimensiones de elementos estructurales, luces entre columnas que permiten optimizar el uso y el costo del concreto.

Actualmente en El Salvador, se proyecta realizar reparaciones en el vertedero y el tanque silenciador de la presa hidroeléctrica " 5 de Noviembre", utilizando concretos de gran comportamiento.

En los documentos con las especificaciones de este proyecto, se establece que la resistencia a la compresión a los 28 días, deberá ser al menos de 750 Kg/cm², y contendrá adición de microsíllica que cumpla la norma ASTM C-1240 y una relación a/c máxima de 0.33. Los asentamientos (revenimiento) estarán en el rango de 200 mm \pm 50 mm.

Es probable que este proyecto de reparación sea sometido a licitación este año (1994), y será quizá el primer proyecto en el país, en el cual se ha especificado concreto de gran comportamiento.

1.3 PLANTEAMIENTO Y DELIMITACION DEL PROBLEMA.

Al transcurrir el siglo XX, con el aumento de la población mundial y la industrialización, el planeta Tierra se ha visto envuelto en un proceso acelerado de contaminación del medio ambiente; los primeros efectos fueron detectados en los países desarrollados, pero en la actualidad hasta en países subdesarrollados como lo es El Salvador, la contaminación está generando problemas difíciles de resolver; debido a lo extenso y complejo que resulta este fenómeno; Por esta razón, el ser humano ha recurrido a sus conocimientos y tecnología disponible, con el fin de resolver, o al menos reducir los efectos generados por la contaminación.

La infraestructura física de las ciudades modernas donde habita el hombre contemporáneo, en su mayoría están hechas a base de concreto reforzado. Este material está siendo atacado por los ácidos, sales, gases de carburación, etc. que son producto directo de los agentes contaminantes presentes en el aire, el agua y las lluvias; estas sustancias provocan daños y degradaciones en la estructura del concreto a nivel molecular.

Debido a que la polución va en aumento y con el paso del 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.

Los beneficios de usar el *CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO* son muchos, pero ellos son de valor, solo cuando pueden ser explotados. Por ejemplo, las propiedades de estos concretos han sido utilizados ventajosamente en rascacielos, puentes largos, estructura bajo condiciones severas de exposición, pavimentos,^{*8} etc.

Para que esta tecnología sea desarrollada, es necesario:

→ 1) Realizar estudios que definan de manera aceptable las propiedades y comportamiento de estos concretos, y que pueda efectuarse una transferencia efectiva de esta información a los diseñadores y constructores de proyectos que requieran satisfacer condiciones especiales y severas, difíciles de solventar usando concretos normales .

→ 2) Generar expectativas positivas sobre el mercado potencial en las empresas productoras de concretos premezclados.

3) Generar la construcción de estructuras más eficientes y económicas. El CGC se perfila como una alternativa, que para un futuro cercano, podrá desplazar al concreto normal en cierto tipo de proyectos en los cuales, son preferibles concretos de características especiales.

⁸ Aitcin, P. C.; and Neville A. "High-Performance Concrete Demystified" Revista: Concrete International, Enero 1993, pág. 22

Actualmente en El Salvador, debido al cese del conflicto armado, se generan nuevas expectativas para reconstruir y mejorar la infraestructura física, dañada durante los enfrentamientos armados a los que fue sometido el país por más de una década.

Además con el aumento del tráfico automotor en la capital, se generarán a corto plazo, problemas de carbonatación en el concreto.

También se construirán más obras hidráulicas para manejar, transportar y tratar las aguas negras, con el fin de disminuir el daño ecológico a que está sometido el medio ambiente nacional, ya que el concreto normal utilizado en estas obras, es susceptible al ataque de las aguas residuales (ataque por sulfatos, etc.), es necesario dar una alternativa de solución, construyendo con elementos que sean más resistentes al medio que los rodea.

Para todas estas condiciones críticas y severas en el concreto, puede ser una alternativa viable el uso del C.G.C.

Por tanto es necesario estudios que permitan un mejor análisis para la aplicación de esta tecnología en el contexto, recursos y limitaciones ingenieriles y financieras que tiene el país en la actualidad.

1.5 OBJETIVOS.

A. OBJETIVOS GENERALES

- Que este trabajo, sirva para orientar posteriores investigaciones en este tipo de concreto.
- Estudiar el Concreto de Gran Comportamiento (C. G. C.), y la posibilidad de fabricarlo (a nivel experimental), como alternativa al concreto normal en El Salvador.

B. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar el comportamiento generado por los agregados y cemento nacionales con el uso de algunos aditivos, en las principales propiedades de este concreto en su estado fresco y endurecido.
- Analizar a nivel experimental, algunas de las propiedades más importantes de este concreto, tales como: resistencia a la compresión, trabajabilidad y durabilidad.

05
2

00
2
2

- Establecer parámetros, para evaluar las propiedades físicas y mecánicas del concreto fresco y endurecido, utilizando diferentes diseños de mezclas.

1.6 ALCANCES.

1. Establecer un punto de partida, para orientar futuras investigaciones del Concreto de Gran Comportamiento (C.G.C.).
2. Establecer parámetros apropiados, para la realización del diseño teórico y experimental de las mezclas del C.G.C.
3. Elaborar mezclas experimentales con agregados nacionales, utilizando diferentes diseños, para determinar de que manera se comportan el concreto fresco y el endurecido.
4. Evaluar la incidencia en el C. G. C. , del uso de algunos aditivos disponibles en el mercado nacional.
5. Determinar que pruebas de laboratorio utilizadas en el país, reflejan de manera más clara las propiedades que se buscan al elaborar este concreto.
6. Obtener información para elaborar: gráficos, tablas, cuadros, etc. que permitan apreciar la efectos de algunos factores en las propiedades de las mezclas.

1.7 LIMITACIONES.

- El estudio se limita a la alternativa que ofrecen por sus propiedades especiales los Concretos de Gran Comportamiento, a la agresión provocada por la contaminación del medio ambiente, aunque debe entenderse que esta no es la única alternativa a este problema.
- Son pocos los países en los cuales se cuenta con información precisa y/o suficiente respecto al Concreto de Gran Comportamiento, por ser un producto de tecnología reciente y que esta en proceso de investigación
- La disponibilidad y diversidad de aditivos necesarios para la elaboración del C.G.C. en El Salvador es bastante escasa y no son producidos en el país .
- El equipo de laboratorio especial y el acceso a ellos, es restringido, lo que limita en gran medida la realización de pruebas especiales.
- Actualmente pocos profesionales en el país tienen conocimiento pleno de lo que es el C.G.C., debido a que esta tecnología aún se encuentra en la etapa de investigación y desarrollo

CAPITULO II

"TECNOLOGIA DEL CONCRETO"

2.1 NOCIONES GENERALES

El concreto puede considerarse como un material pétreo, artificial, obtenido de la mezcla, en proporciones determinadas de al menos cemento, agua y agregados pétreos, y aire (incluido o no). Estos materiales que son básicos para la elaboración del concreto se les conoce como ingredientes.

El comportamiento del concreto y sus características, deben considerarse en términos relativos según el tipo de servicio que prestará la estructura y el clima de la región en que se construirá. Así, para una estructura hidráulica lo esencial será la impermeabilidad, como la resistencia y la rigidez lo son para un edificio, sin embargo en pavimentos la característica principal es la resistencia a la abrasión. Lo importante es que la estructura cumpla las exigencias razonables a que puede ser sometida durante su vida de servicio en conceptos de funcionalidad, seguridad y apariencia.

2.2 COMPONENTES

El estudio del comportamiento y propiedades del concreto, tanto en estado fresco como ya endurecido, se facilita al considerarlo como integrado por dos componentes básicos:

pasta de cemento - agregados minerales.

2.2.1 PASTA DE CEMENTO

Ordinariamente, la pasta de cemento constituye del 10.00 al 40.00 % del volumen total del concreto. La pasta esta formada por : Cemento, agua, aire (incluido o no) y algunas veces se añaden ciertas sustancias llamadas aditivos, los cuales mejoran o modifican algunas propiedades del concreto. El cemento y el agua forman una pasta que rodea a los agregados, constituyendo un material heterogéneo⁹.

Al entrar en contacto el cemento con el agua, se inicia una reacción química llamada **Hidratación**, la cual genera el **fraguado** que es un proceso de endurecimiento en el cual, el concreto pasa del estado fluido o semifluido a un estado rígido, y al finalizar este proceso se inicia la ganancia de resistencia.

2.2.1.1 COMPORTAMIENTO DE LA PASTA.

La pasta de cemento es una suspensión de partículas en un medio que puede visualizarse como una red de fuerzas de atracción, conocidas como fuerzas de Van der Waal, son intermoleculares y no obedecen a la ley de atracción universal. Las de repulsión son electrostáticas y se deben a las

⁹ Oscar M. Gonzalez, F. Robles, J. Casillas, R. Díaz "Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado", Ed. Limusa, 6ª reimpresión, México, 1981. pág. 21 - 25.

cargas superficiales de las partículas. La cohesión de la pasta es el resultado del balance entre estas fuerzas, así una pasta con poca agua es muy cohesiva porque las partículas se encuentran en contacto unas con otras y predominan las fuerzas intermoleculares de atracción sobre las de rechazo. A medida que se incrementa el contenido de agua tienden a separarse las partículas, con lo cual las fuerzas de atracción se reducen drásticamente y adquieren predominio las de repulsión, disminuyendo la cohesión. Si el contenido de agua se continúa incrementando, la pasta pierde mas cohesividad tendiendo a comportarse como el agua, que es un fluido de tipo newtoniano, esto es, sin ninguna cohesión.

Consecuentemente, las pastas de consistencia seca que tienen poca agua (muy cohesivas) requieren la aplicación de fuerzas externas, tanto o mayores que las de atracción para que pueda fluir por la simple acción de la gravedad, en cambio las pastas de consistencia fluida prácticamente no poseen cohesión y fluyen sin necesidad de vibración. Las primeras podrían ser representativas de los concretos masivos con revenimiento nulo, que suelen requerir la aplicación de intensa energía vibratoria para ser consolidados, y las segundas corresponderían a los concretos con muy alto revenimiento, que a veces se utilizan para colados por gravedad. Para comprender el comportamiento de la pasta, es necesario estudiarla principalmente en su estado fresco (fluido).

2.2.1.2 COMPORTAMIENTO REOLOGICO.

La 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.¹⁰

El comportamiento reológico de la pasta de cemento, se pone de manifiesto al ensayarla en un viscosímetro, mediante la aplicación de distintos niveles de esfuerzo cortante relacionado con sus respectivas deformaciones, con lo cual se obtiene una gráfica como en la Fig.

COEFICIENTES REOLOGICOS:

$F = \text{límite de cedencia} = k_1 M_2$

$U = \text{viscosidad plástica} = k_2 \cot \alpha$

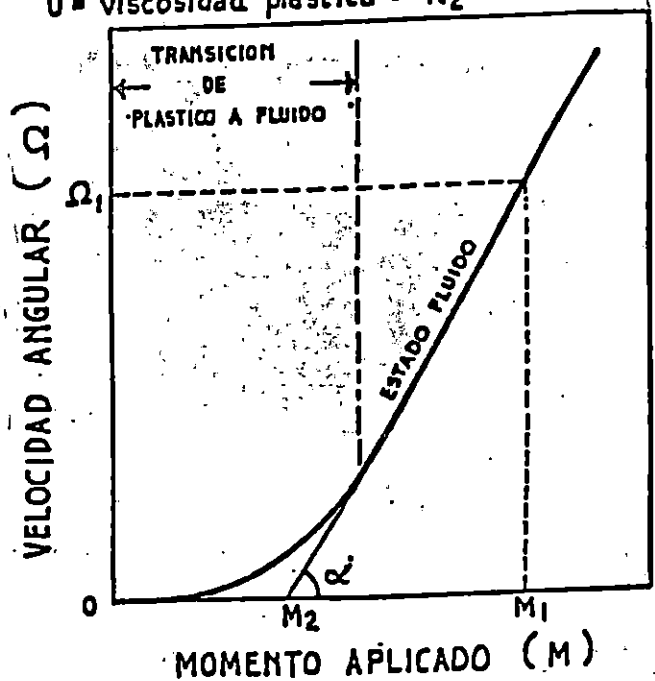


FIG. 2.1 Comportamiento reológico de la pasta de cemento como fluido tipo Bingham

¹⁰ "Diccionario Enciclopédico Oceano", Edición 1992, Editorial Oceano Gallach, Bogotá Colombia.

Collazo Javier L., "Diccionario Enciclopédico de términos Técnicos Inglés-Español Vol. 2", Editorial Mc Graw-Hill, 8ª Impresión, México 1990, pág. 128

2.1 ¹¹; en la cual se observa que para un cierto intervalo inicial del esfuerzo aplicado la gráfica es curva, lo cual denota una etapa de transición de la pasta entre el estado plástico y el fluido. A partir de un determinado nivel de esfuerzo, llamado de cedencia, la gráfica se vuelve una línea recta y la pasta se comporta prácticamente como un fluido sin cohesión, tipo Newtoniano. Si el esfuerzo se anula, la pasta recobra su estado plástico inicial, como ocurre en el caso del fenómeno de tixotropía, el cual es un comportamiento característico de los fluidos tipo Bingham, como la pasta de cemento.

En el caso de las mezclas de concreto de uso común, suele buscarse que la pasta posea una consistencia más bien plástica, a la cual corresponda una cohesión adecuada para inhibir la segregación durante los movimientos previos a su colocación en los moldes. Posteriormente, para darle suficiente consolidación al concreto ya colocado, dicha cohesión se anula por las fuerzas que le transmite el equipo de vibrado con lo cual, mientras permanece actuando la vibración, la mezcla se fluidiza, permitiendo la expulsión del aire atrapado y rellenando el espacio confinado por los moldes. Al cesar la vibración, la mezcla ya consolidada recupera su rigidez inicial, quedando así dispuesta para iniciar el proceso

¹¹ Lagos Porfirio, "Diseño de Mezcla de Concreto", curso teórico-práctico "Tecnología del Concreto", ASIA-FEPADE, 1992. pág. DM 05 - DM 09.

de fraguado y endurecimiento.

Por otra parte, la pasta de cemento es la principal responsable de los cambios de volumen que ocurren en el concreto, tanto en su estado fresco como endurecido. De estos cambios, el más importante es la contracción por secado, que se denomina así por su aparente coincidencia con la pérdida de agua, cuando se manifiesta en el concreto aún fresco, se llama **contracción plástica** y salvo casos extremos, éste es capaz de absorberla sin fisurarse. No ocurre así en el concreto endurecido que si no dispone de facilidad para contraerse sin restricciones, se agrieta irremediablemente.

La sola pasta de cemento puede contraerse entre 5 y 15 veces más que el concreto, cuya contracción reducida se debe a las restricciones que en él ejercen los agregados. Por lo tanto, es deseable que la pasta de cemento, como componente del concreto, intervenga en la menor proporción posible.

Aún cuando existen opiniones controvertidas respecto a las causas de la contracción por secado en la pasta, se coincide en que determinados factores la incrementan, entre los cuales se mencionan el contenido de agua, la finura, composición y consumo unitario de cemento.

La contracción de una pasta con relación agua/cemento igual a 0.56, puede ser 50% mayor que la de otra con una relación de 0.40. Los cementos con mayor finura y más aluminato tricálcico parecen conducir a una contracción fuerte en la pasta. En cuanto al consumo unitario de cemento en el concreto, si éste aumenta también aumenta la proporción unitaria de pasta en el mismo concreto y, no obstante que la relación agua/cemento disminuye y la resistencia se incrementa, la contracción del

concreto también aumenta.

Como consecuencia, para reducir la probabilidad de contracción,

es necesario que el

contenido de cemento sea tan bajo como resulte compatible con el cumplimiento de las especificaciones de resistencia de la obra.

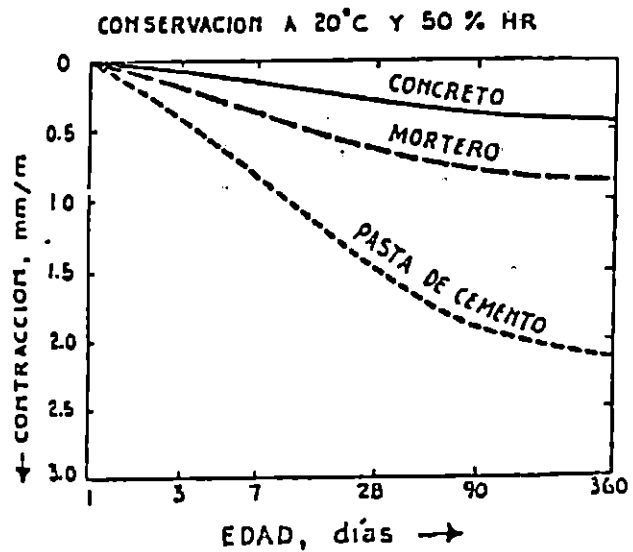
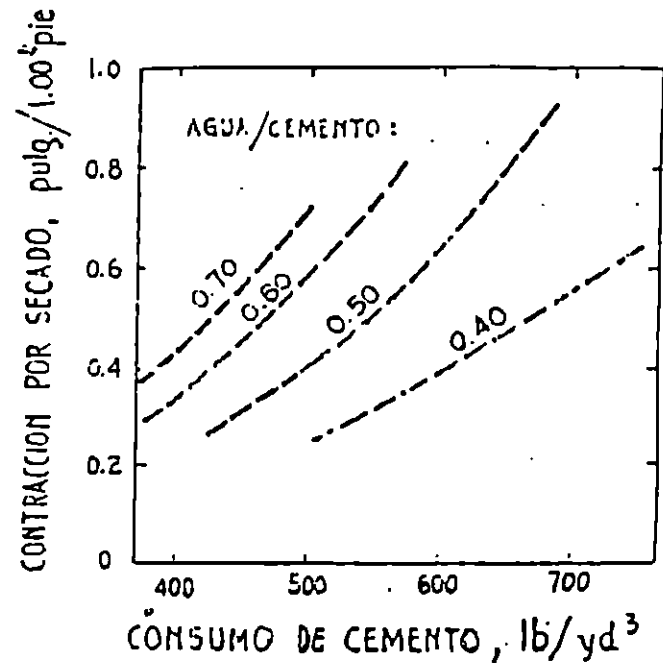


Fig. 2.2. Contracción por secado comparada de concreto, mortero y pasta de cemento

Para ilustrar lo anterior, en la fig. 2.2, se muestra la comparación de

la contracción por secado de la pasta de cemento, el mortero y el concreto, para unas condiciones determinadas. La fig. 2.3, pone de

manifiesto la influencia de la relación agua/cemento y del consumo unitario de cemento sobre la contracción por secado del concreto.



2.3 Influencia del consumo de cemento y de la rel. a/c en la contracción

2.2.1.3 CEMENTO

Es un polvo químico seco, que al mezclarse con agua adquiere propiedades aglutinantes, tanto adhesivas como cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales, para formar un todo compacto.

El cemento forma del 7 al 15% del volumen total del concreto*¹², los

Cementos Portland son en la actualidad los más utilizados en la industria de la construcción. Se atribuye el invento de este producto a un albañil inglés llamado Joseph Aspdin¹², quien en 1824 obtuvo la patente y llamó a su producto "*Portland*", porque producía un concreto parecido a la caliza natural que se extraía en Inglaterra, en la isla de Portland.

Los cambios de los procesos y el producto desde la época de Aspdin hasta hoy, tienen la categoría de refinamientos.

Básicamente los materiales usados en la fabricación de cemento PORTLAND, contienen proporciones adecuadas de cal, sílice, alúmina y componentes de hierro, los cuales son pulverizados y dosificados, introduciéndose en altos hornos con temperaturas entre 1400 a 1650 °C, formándose la escoria de cemento PORTLAND llamada Clinker, cuando este ha sido formado, este pasa a enfriarse y luego se pulveriza, añadiendo una pequeña cantidad de yeso para regular el tiempo de fraguado y otros materiales que ayuden a la molienda, así como agentes inclusores de aire cuando se requiere; el producto se pulveriza hasta lograr pasar por una criba N°400 y se obtiene el cemento portland terminado.

¹² Instituto Mexicano del Cemento y del concreto A.C. " Diseño y Control de Mezclas de Concreto ", Editorial IMCYC, Primera Impresión, México, 1992. Pág. 13

Los cementos Portland están compuestos principalmente de tres óxidos: Sílice (SiO_2), Cal (CaO) y alúmina (Al_2O_3), con pequeñas cantidades de MgO , SO_3 y Fe_2O_3 .

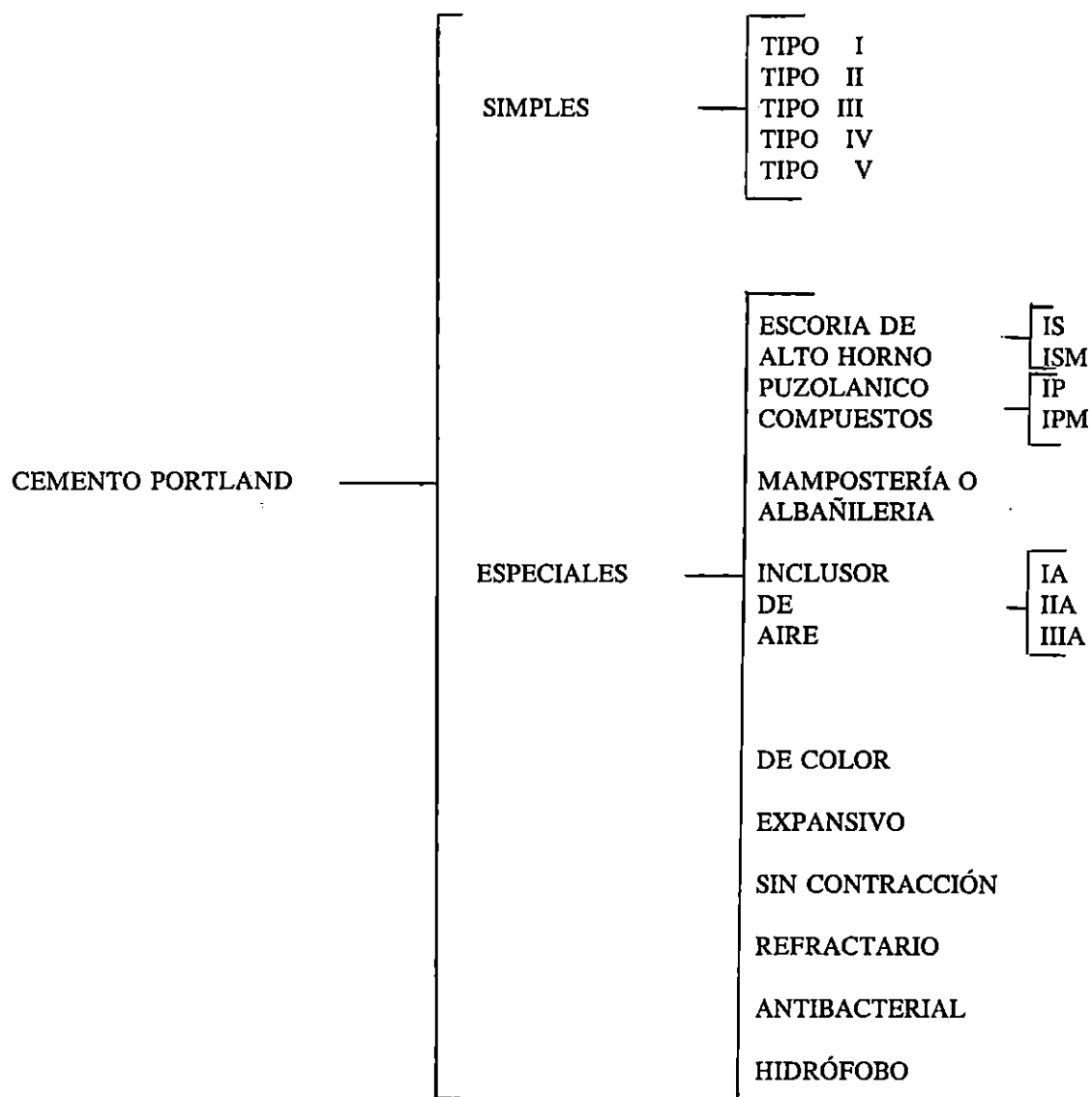
Los compuestos son mezclas de combinaciones de los óxidos básicos. La tabla 2.1 muestra los compuestos principales y su influencia en los cementos portland.

Tabla 2.1. COMPUESTOS PRINCIPALES EN LOS CEMENTOS PORTLAND^{*13}

Nombre	Silicato Tricálcico	Silicato Dicálcico	Aluminato Tricálcico	Aluminato Ferritatri-cálcico
Oxido	3CaO SiO_2	2CaO SiO_2	$3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$	$4\text{CaO Al}_2\text{O}_3$ Fe_2O_3
Fórmula	C_3Si	C_2Si	C_3Al	C_4AlFe
Propiedad	Influencia Relativa de Cada Compuesto			
Rapidez de reacción	Media	Lenta	Rápida	Lenta
Calor liberado por unidad de compuesto	Mediano	Poco	Mucho	Poco
Valor inicial cementante por unidad de compuesto	Bueno	Malo	Bueno	Malo
Valor final cementante por unidad de compuesto	Bueno	Bueno	Malo	Malo

¹³ Instituto Mexicano del Cemento y del concreto A.C. " Diseño y Control de Mezclas de Concreto ", Editorial IMCYC, Primera Impresión, México, 1992. Pág. 21 - 22

El cemento Portland se clasifica en:



La especificación ASTM C-150 describe 8 tipos de cemento portland, cinco normales (I, II, III, IV, V) y tres con inductor de aire (IA, IIA, IIIA).

La tabla 2.2. de la pág. 31 describe las características de cada

tipo normal, comparándolos con el tipo I

TABLA 2.2 CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO PORTLAND ^{*14}

TIPOS	I	II	III	IV	V
CONCEPTOS	Normal	Moderado	Rápido	Bajo	Resistente
RESISTENCIA A LOS SULFATOS	normal	mayor que I	normal	normal	alto
CALOR DE HIDRATAACION	normal	menor que I	alto	bajo	normal
ENDURECIMIENTO	normal	algo lento	rápido	lento	lento
TIEMPO DE FRAGUADO	normal	normal	no rápido	no rápido	normal
RECOMENDACIONES ESPECIALES	Obras comunes sin ningún tipo de requisito especial: - pavimentos - aceras - edificios - puentes - tanques - mampostería etc.	Estructuras de gran masa, concretos en climas cálidos, con ataque moderado de sulfatos	Estructuras que se desean poner en servicio rápidamente por aspectos constructivos de desmoldado y curado, o por aspectos climatológicos (frío). No usar en obras de concreto en masa.	Estructuras de gran masa	Donde los suelos o el agua subterránea tengan alto contenido en sulfatos como los alcantarillados de aguas negras

Los diferentes tipos de cemento Portland se fabrican para poder manejar ciertas propiedades físicas y químicas, que de no controlarse, pueden generar problemas o aun daños a la estructura a construir.

En la tabla 2.3 de la pág. 32, se comparan las características de resistencia y calor de hidratación de los 5 tipos simples de cemento PORTLAND, comparándolos con el tipo I:

¹⁴ Staff Portland Cement Association, " Proyecto y Control de Mezclas de Concreto ", Editorial Limusa, Primera Impresión, México, 1978. Pág. 16-17

TABLA 2.3 Resistencia y Calor de Hidratación del Cemento Portland ¹⁵

TIPO DE CEMENTO PORTLAND (ASTM)		% DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS CONCRETOS, OBTENIDA RESPECTO A LOS RESULTADOS DEL CEMENTO TIPO I				% DE CALOR DE HIDRATACION GENERADO POR LOS DIFERENTES TIPOS DE CEMENTO EN FUNCION DEL GENERADO POR EL CEMENTO TIPO I
		1 DIA	7 DIAS	28 DIAS	3 MESES	
I	NORMAL	100	100	100	100	100
II	MODERADO	75	85	90	100	80-85
III	RAPIDO	190	120	110	100	150
IV	BAJO	55	55	75	100	40-60
V	RESISTENTE	65	75	85	100	60-75

Las propiedades más importantes del cemento portland, están expresadas en algunas normas de la ASTM, el conocimiento del significado de estas es provechoso para interpretar el resultado de las pruebas al cemento, entre las más destacadas se mencionan:

ANALISIS QUIMICO (ASTM C 114 - 61T)

Este análisis consiste en un grupo de procedimiento de pruebas por el que se determinan cuantitativamente los óxidos alcalis y residuos del cemento. La química del cemento es una cuestión complicada por lo que es indispensable tener personal especializado para ejecutar estos análisis. Las normas ASTM C-150 y C-595 limitan las propiedades de acuerdo al tipo de cemento

¹⁵ Staff Portland Cement Association, " Proyecto y Control de Mezclas de Concreto ", Editorial Limusa, Primera Impresión, México, 1978. Pág. 21

FINURA (ASTM C-115, C-786 y C-184)

La finura del cemento afecta la rapidez de hidratación. Al aumentar la finura aumenta la rapidez de hidratación. Este aumento afecta en la resistencia principalmente durante los primeros 7 días, al haber disminuido la cantidad de agua necesaria

FIRMEZA O SANIDAD (ASTM C-151)

La firmeza es la capacidad que una pasta de cemento endurecida tiene de conservar su volumen después del fraguado. La falta de firmeza o dilatación destructiva diferida es producida por cantidades excesivas de magnesia o cal libre muy quemada. La mayor parte de las especificaciones para el cemento limitan la proporción de magnesia y la dilatación en el auto clave. Desde la adopción de la prueba de la dilatación en el auto clave (C-151) por la ASTM en 1943 prácticamente no han ocurrido casos de dilatación anormal atribuibles a la falta de firmeza.

TIEMPO DE FRAGUADO (ASTM C-191 Y C-266)

Se efectúan pruebas para determinar si una pasta de cemento permanece en estado plástico el tiempo suficiente para permitir un colado normal. El período en el cual la mezcla permanece plástica generalmente depende más de la temperatura y del contenido de agua en la pasta, que

del tiempo del fraguado del cemento. Las pruebas para determinar el fraguado se realizan con el aparato de Vicat (ASTM C-191) y la Aguja de Gilmore (ASTM C-266).

FALSO FRAGUADO (ASTM C-451)

El falso fraguado se pone en evidencia por una gran pérdida de plasticidad, sin generar mucho calor un poco después de haber mezclado el concreto. Este fenómeno desaparece al aumentar el tiempo de mezclado en el concreto.

RESISTENCIA A LA COMPRESION (ASTM C-109)

La resistencia a la compresión del cemento portland es obtenida de cubos estándar de 2 pulgadas, usando arena estándar. La resistencia a las diferentes edades son indicadores de las características del cemento con precisión a causa de las muchas variables que intervienen en la mezcla de concreto. La resistencia relativa del concreto a diferentes edades están influidas por la composición combinada y la finura del cemento.

CALOR DE HIDRATAACION (ASTM C-186)

El calor de hidratación es el generado cuando reaccionan el cemento y el agua. La cantidad de calor generada dependen principalmente de la composición química del cemento; la taza de generación de calor es

afectada por la finura y la temperatura del curado así como la composición química. En estructuras con grandes masas de concreto, la rapidez y la cantidad de calor generado es importante, si este calor no se disipa rápidamente, puede estar acompañado de dilataciones térmicas y el enfriamiento posterior del concreto endurecido a la temperatura ambiente puede crear esfuerzos perjudiciales en la estructura.

PERDIDA POR IGNICION (ASTM C-114)

La pérdida por ignición del cemento portland se determinan calentando una muestra de cemento de peso conocido al rojo vivo (de 900 a 1000 grados centígrados) hasta obtener un peso constante. Luego se determina la pérdida de peso de la muestra; normalmente, la pérdida de peso no excede al 2%. Una elevada pérdida por ignición es indicador de prehidratación o carbonatación que puede ser producida por almacenamiento incorrecto y prolongado.

PESO ESPECIFICO (ASTM C-188)

El peso específico del cemento portland generalmente es aproximadamente de 3.15. El cemento portland de escorias de altos hornos puede tener pesos específicos de aproximadamente 2.90. El peso específico de un cemento no indica la calidad del mismo; su uso principal es para el proyecto de mezclas. En El Salvador el peso específico del

cemento Portland nacional, es de 3.10

2.2.1.4 AGUA

Elemento que al reaccionar con el cemento, genera las propiedades aglutinantes, forma del 14 al 21% del volumen del concreto. "Casi cualquier agua natural que pueda beberse y que no tenga sabor u olor pronunciado, se puede utilizar para producir concreto. Sin embargo, algunas aguas no potables pueden ser adecuadas para el concreto."¹⁶

En general, se recomienda que toda agua que no haya sido probada previamente, se someta a un análisis comparativo de laboratorio, que consistirá en hacer ensayos de fraguado y de resistencia a la compresión de los materiales que se van a emplear; una serie con el agua por probar y otra con una agua previamente aceptada (puede ser agua destilada). El criterio americano dice que el fraguado inicial (ASTM C-191) no deberá variar considerablemente y que la resistencia a la compresión a la edad de 28 días (ASTM C-109), deberá ser mayor que el 90% (85%, también es un límite satisfactorio) de la obtenida con los especímenes hechos con el agua aceptada. En cambio, el criterio británico acepta una tolerancia de 30 minutos en el fraguado inicial y una resistencia no menor del 80%.

¹⁶ Instituto Mexicano del Cemento y del concreto A.C. " Diseño y Control de Mezclas de Concreto ", Editorial IMCYC, Primera Impresión, México, 1992. Pág. 27

Las ASTM C-94 y las AASTHO T-26 mencionan algunos criterios para la aceptación del agua a ser utilizada en la elaboración del concreto. Como una guía para la selección del agua de mezclado se muestra la tabla 2.4 que informa sobre algunos elementos perjudiciales:

Tabla 2.4 Elementos perjudiciales en el agua de mezcla ^{*17}

ELEMENTO	AMPLIACION O COMENTARIO	FRAGUADO	RESISTENCIA	CONCENTRACION DAÑINA
AGUAS CON DESPERDICIOS INDUSTRIALES	Probarla siempre			
AGUAS NEGRAS	¡ No !, a menos que provengan de una planta de tratamiento adecuada			
AZUCAR		Retarda	Disminuye a los 7 días, aumenta a los 28 días	0.03 - 0.15 % del peso de cemento
		Acelera		0.20 %
		Muy Rápido	Gran reducción a los 28 días	0.15 %
LIMOS Y ARCILLAS	Dejar reposar el agua en estanques de sedimentación, para reducir sus concentraciones			
CARBONATOS Y BICARBONATOS ALCALINOS	Sodio	muy rápido	reduce	1.000 PPM
	Potasio	aceleran o retardan	reduce	
CLORURO Y SULFATO DE SODIO				1.000 PPM
BICARBONATO DE CALCIO Y MAGNESIO				400 PPM

¹⁷ Instituto Mexicano del Cemento y del concreto A.C. " Diseño y Control de Mezclas de Concreto ", Editorial IMCYC, Primera Impresión, México, 1992. Pág. 27 - 30

Continuación Tabla 2.4

ELEMENTO	AMPLIACION O COMENTARIO	FRAGUADO	RESISTENCIA	CONCENTRACION DAÑINA
CLORURO DE SODIO				2% del peso de cemento
AGUA DE MAR	Ajustar mezclas problemas de corrosión	más rápido	algo menor	3.5% De sal en peso de agua
AGUAS ACIDAS				10.000 PPM PH < 3.0
ALGAS	Reducen la adherencia, pueden presentarse también en los agregados		Grandes reducciones por la generación de aire	
SALES	Hierro			40.000 PPM
	Manganeso, estaño	producen variaciones	reduce	
	Cinc, Cobre, Plomo	variaciones muy fuertes	grandes reducciones	
	Iodato de sodio Fosfatos de sodio Arsenato de sodio Borato de sodio	retardan		500 PPM
	Sulfuro de sodio			100 PPM
AGUAS ALCALINAS	Hidróxido de sodio			0.5% del peso de cemento
	Hidróxido de potasio			Muy variable

2.2.1.5 AIRE INCLUIDO.

Su proporción puede llegar a constituir aproximadamente hasta un 8% del volumen del concreto. La inclusión de aire mejora la impermeabilidad

al aumentar la densidad que se obtiene al mejorar la manejabilidad y reducir la segregación y el exudado. Debido a que se disminuye la cantidad total de agua necesaria en el concreto con aire, la pasta tendrá una menor relación agua/cemento y, por tanto, será más impermeable. Para ser impermeable, el concreto no debe tener rajaduras ni agujeros.

2.2.1.5 ADITIVOS :

La norma ASTM C-125 y la ACI SP-19 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 que se agrega a la mezcla, inmediatamente antes o durante el mezclado."¹⁸ Estas inclusiones se realizan para modificar o mejorar algunas propiedades del concreto fresco o endurecido, haciéndolo más adecuado para determinado uso, por economía, o con otros propósitos tales como el ahorro de energía. Las especificaciones provisionales de aditivos químicos para concreto ASTM C 494, se aplican a la mayoría de aditivos comúnmente usados.

Los aditivos no se deben considerar como sustitutos de las buenas prácticas para fabricar concreto. Por otra parte, la eficacia de estos

¹⁸ Comité ACI 116, "Cement and Concrete Terminology SP-19 (78)", American Concrete Institute, Detroit 1978, pág. 50

materiales depende de factores, tales como: Tipo de cemento, cantidad de ingredientes, proporciones de la mezcla, forma de los agregados, granulometría, consistencia, tiempo de mezclado y temperatura ambiente. La ACI ha clasificado los aditivos para su estudio de acuerdo a su naturaleza (químicos, minerales, etc.) y por el efecto principal que producen (retardantes, plastificantes, expansores, etc.). El empleo y selección de los aditivos debe ser muy cuidadoso, porque son sustancias muy activas y una sobredosificación puede causar efectos desastrosos. Por lo tanto se deben considerar los siguientes puntos:

- a) Tomar como guía inicial las recomendaciones del fabricante de los aditivos.
- b) Seguir las especificaciones o las recomendaciones de instituciones de prestigio en el medio nacional, como la ASTM y la ACI.
- c) Someter a ensayos preliminares de laboratorio, a los aditivos que se piensen emplear.
- d) Dejar plenamente justificada su aplicación de acuerdo a las circunstancias que prevalecen en la obra.

Generalmente, los aditivos son compatibles entre sí, y pueden emplearse combinados, siempre y cuando, se sigan las recomendaciones anteriores. En las tablas 2.5 y 2.6 se presenta una lista de los aditivos

más conocidos con sus datos generales, sin pretender hacer una descripción completa de los mismos. Los que no presentan normas, las recomendaciones de su empleo se encuentran en el informe del comité ACI 212. ^{*19}:

TABLA 2.5 Aditivos más utilizados en el concreto ^{*20}

NOMBRE	MATERIALES	CARACTERISTICAS	USOS
INCLUSOR DE AIRE ASTM C 260 C 233 C 226	Resina Vinsol, Darex, Grasas, Aceites, etc.	Generalmente son insolubles en agua. Producen pequeñas burbujas de aire en la masa del concreto. Reaccionan frente a las arenas. Aumentan la manejabilidad y la plasticidad; reducen el sangrado y la segregación; aumentan notablemente la durabilidad. La resistencia máxima se ve afectada ligeramente, pero se puede compensar económicamente.	En todos los concretos expuestos al ataque severo de la intemperie; principalmente en congelación y deshielo. Para aumentar la manejabilidad, en donde no es recomendable aumentar el agua.
RETARDANTES ASTM C 494	Lignosulfonatos, Almidones, Hidroxicarboxílico etc.	Prolongan el tiempo de fraguado y el inicio del endurecimiento sin afectar el endurecimiento posterior, es decir no afectan a las resistencias mecánicas.	Colados de concreto en climas cálidos; inyecciones de lechadas; en general en aquellas obras donde se requiere prolongar el fraguado para asegurar colados monolíticos (sin juntas de fraguado).
ACELERANTES ASTM C 494 D 98 D 345	Cloruro de calcio, Cloruro de sodio; algunos Carbonatos, Silicatos e Hidróxidos; orgánicos, como la trietanolamina.	Acelera el fraguado y el desarrollo de las resistencias mecánicas a edades tempranas.	En la prefabricación y donde se desea aumentar la producción, excepto en los concretos presforzados. También se emplean en los colados durante los climas fríos.
REDUCTORES DE AGUA ASTM C 494	materiales inclusores de aire y retardantes a base de lignosulfonatos generalmente.	Reducen el agua de mezcla para una manejabilidad determinada, son plastificantes, reducen la permeabilidad y aumentan la durabilidad.	Para mejorar la calidad del concreto. Son muy empleados en los concretos bombeados.

¹⁹ Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. , " Aditivos para concreto", Editorial Limusa, primera impresión, México 1990

²⁰ Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. , " Aditivos para concreto", Editorial Limusa, primera impresión, México 1990. pág. 36,48,56,124,130,131.
Portland Cement Association 1978. pág. 48

TABLA 2.6 Aditivos Minerales Finamente Divididos ²¹

NOMBRE	MATERIALES	CARACTERISTICAS	USOS
PUZOLANAS ASTM C 219 C 618 C 441 C 311 C 595	Ceniza volante, vidrio volcánico, tierras diatomeaceas, algunas pizarras y arcillas activadas.	Mineral finamente pulverizado que solo tiene propiedades cementantes en agua, frente al hidróxido de calcio y a temperaturas ordinarias. Controlan la temperatura del concreto. Contrarrestan el ataque de los álcalis y los sulfatos. Mejoran la plasticidad, reduce el sangrado y la permeabilidad. Corrigen las deficiencias de finos de las arenas. Contribuyen al desarrollo de resistencias a edades posteriores	En concretos masivos; con agregados reactivos; para mejorar la calidad del concreto; en elementos sujetos al ataque de los sulfatos y donde los cambios volumétricos se deben reducir.
MATERIALES CEMENTANTES ASTM C 10 C 141 C 205 C 358 C 595	Cemento natural, cal hidráulica, escoria de altos hornos y cemento escoria.	Minerales finamente pulverizados con propiedades cementantes. Aumentan la manejabilidad sin incrementar el cemento portland, por esta razón corrigen deficiencias de finos y contribuyen a adquirir las resistencias mecánicas	En concretos masivos, y para mejorar la calidad del cemento en forma económica.
MATERIALES INERTES ASTM C 595	Arenas de cuarzo y silíceas, bentonita, cal dolomítica hidratada, calizas calcéticas y dolomíticas, granito y otros polvos de roca, desperdicio de crisófilo (asbesto), piedra de cal, talco.	Minerales finamente pulverizados, cuyas reacciones químicas son relativamente inertes. Corrigen la deficiencia de finos, aumentando la manejabilidad y disminuyen el sangrado y la permeabilidad. Esta última en menor grado que las puzolanas y los materiales cementantes.	Donde se requiere mejorar la calidad de las arenas, para tener una manejabilidad sin tener que aumentar el consumo de cemento Portland.
ESTABILIZADORES DE VOLUMEN ASTM C 595	Hierro pulverizado o granulado.	Por oxidación producen expansiones internas que compensan las contracciones naturales del concreto.	Para apoyar maquinarias; realizar reparaciones, anclajes y rellenos
GENERADORES DE GAS ASTM C 595	Polvo de aluminio y, en escala inferior el magnesio y el zinc, peróxido de hidrógeno.	Reaccionan con los hidróxidos del cemento, generando gas hidrógeno. En pequeñas cantidades se forman burbujas que expanden ligeramente el concreto, disminuyendo su tendencia a segregarse. En grandes cantidades, se genera una expansión incontrolada.	Para formar concretos ligeros (celulares). Para inyectar lechadas debajo de máquinas, o para formar rellenos horizontales.

Además de los aditivos mostrados, se emplean en menor escala los siguientes: impermeabilizantes integrales, adhesivos, anticorrosivos,

²¹ Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., "Aditivos para concreto", Editorial Limusa, primera impresión, México 1990. pág. 64-75,79.
Portland Cement Association 1978. pág.49-50

colorantes, floculantes, fungicidas, germicidas, insecticidas, etc.

2.2.2. AGREGADOS :

Son las partículas minerales que constituyen de un 60 al 80 % del volumen del concreto. Los agregados se clasifican en 2 grupos de acuerdo a su tamaño:

Finos y gruesos

a) AGREGADOS FINOS

Son las arenas naturales o las fabricadas, cuyos granos pasan la malla No 4 ($d \sim = 1/4$ pulgada) y se retienen en la malla # 200.

b) AGREGADOS GRUESOS

Son los granos que tienen un diámetro aproximadamente mayor que $1/4$ " de pulgada (normalmente gravas y la piedra triturada).

Como el agregado constituye del 60 al 80% del concreto, su selección es importante, porque su calidad, puede limitar la resistencia del concreto, pues debe tomarse en cuenta que el agregado no es realmente inerte en la masa de concreto, pues sus propiedades físicas, térmicas y químicas influyen sobre el comportamiento del concreto.

2.2.2.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS AGREGADOS

Las características principales que se buscan en los agregados son:

a) Sanidad.

Esta es la propiedad que tienen los agregados para resistir el ataque de la intemperie. La ASTM, ha desarrollado un ensaye (ASTM C-88), en el que los agregados se someten al ataque del sulfato de sodio o de magnesio, en 5 ciclos de saturación en una solución con estos sulfatos y secado en un horno entre 105 y 110° C hasta peso constante. La sanidad es función inversa de la pérdida de peso por rompimiento de las partículas, debido a la cristalización expansiva de los sulfatos. Los límites de pérdida, son:

- Arena	sulfato de sodio	$\leq 10\%$ por peso
	sulfato de magnesio	$\leq 15\%$ por peso
- Grava	sulfato de sodio	$\leq 12\%$ por peso
	sulfato de magnesio	$\leq 18\%$ por peso

Estos límites en la arena no son definitivos. Además, este método de ensayo no es representativo para el ataque de la congelación y el deshielo.

Los límites presentados para las gravas, se aplican a los agregados naturales o triturados para fabricar concreto normal. En el caso de que este provenga de la escoria de altos hornos enfriada al aire, estos límites se deben modificar a 8 y 12%, respectivamente.

Congelación-deshielo del concreto (ASTM C-290 y C-291).

Esta es probablemente, la forma más representativa para medir la sanidad de los agregados dentro del concreto. Consiste en someter cilindros o prismas de concreto, a ciclos de congelación rápida en el agua o en el aire y al deshielo dentro del agua. La sanidad es función inversa al deterioro, que se mide como la Pérdida progresiva del módulo dinámico de elasticidad, según el ensayo ASTM C-215.

b) Resistencia a la abrasión (ASTM C-131)

Suele utilizarse como índice general de la calidad del agregado. Esta se mide, en función inversa al incremento del material fino, que por abrasión, se desprende de los agregados cuando unas bolgas de acero, golpean contra ellos dentro de una especie de molino (cilindro de acero, horizontal). El más popular, es el método de la máquina "Los Angeles" (ASTM C-131), empleado para gravas naturales o trituradas. La pérdida máxima en polvo por abrasión, según este ensayo, no debe ser mayor que el 50% por peso. En el caso de estructuras expuestas a una abrasión

directa, como en los pavimentos, esta se limita al 45%.

c) Substancias deletéreas.

Son aquellas que contaminan a los agregados y de alguna forma, dañan al concreto. Para determinar estas substancias, se siguen los siguientes ensayos:

- Cantidad de material para que pasa la malla No. 200 (ASTM C-117)
- Cantidad de partículas ligeras (ASTM C-123).
- Impurezas orgánicas (ASTM C-40).
- Cantidad de partículas desmenuzables (ASTM C-142).
- Cantidad de partículas blandas (ASTM C-235).

La cantidad de impurezas orgánicas, se limita por comparación de un color estándar, con el color que toma una muestra de agregado adentro de una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 3% en agua destilada. Si este color es más intenso que el estándar, el contenido de impurezas orgánicas es mayor del aceptado, por el contrario, estarán bajo del límite, si el color es más claro. En el primer caso, los agregados se deben lavar y someter a otro ensaye.

Si el color persiste, significa que el NaOH está atacando a algún compuesto de carbón, que puedan tener las partículas de los agregados.

Los materiales que no pasaron esta prueba, se pueden someter a un ensaye de resistencia a la compresión, de acuerdo al ensaye ASTM C-87 (Efecto de las Impurezas Orgánicas de las Arenas, en la Resistencia de los Morteros); en el que se comparan las resistencias de un mortero de consistencia normal, hecho con la arena en las condiciones actuales, con otro, hecho con la misma arena pero lavada, de tal forma, que pase la prueba colorimétrica. Si la resistencia de aquella, (a 7 y 28 días), es mayor del 95% de esta, la arena se acepta sin lavarla; en cambio si es menor, el agregado tendrá que lavarse para que cumpla con ASTM C-40.

El resto de las sustancias deletéreas, se especifican en las tablas 2.7 y 2.8. (ver pág. 48)

TABLA 2.7 Límites de las sustancias deletéreas en las arenas

CONCEPTO	CONTENIDO MAXIMO, % EN PESO DE LA MUESTRA TOTAL
Partículas desmenuzables	1.0
Material más fino que la No.200: -Concretos sujetos a la abrasión -Otros	3.0* 5.0*
Partículas ligeras (carbón y lignito) -Concretos aparentes -Otros	0.5 1.0

* En el caso de material producto de trituración, estos límites se pueden incrementar hasta 5 y 7% respectivamente.

TABLA 2.8 Límites de las sustancias deletéreas en las gravas

CONCEPTO	CONTENIDO MAXIMO, % EN PESO DE LA MUESTRA TOTAL
Partículas desmenuzables	0.25
Partículas blandas ⁽¹⁾	
Material más fino que la N° 200	5.00
Partículas ligeras (carbón y lignito)	1.00 ⁽²⁾
-concretos aparentes	
-otros	
Partículas intemperizadas ⁽³⁾ , que se desintegran a los 5 ciclos del ataque de los sulfatos o a las 50 ciclos de congelación y deshielo en agua ⁽⁴⁾ , o que tienen peso específico saturado y superficialmente seco inferior a 2.35:	0.50
-exposición severa	1.00
-exposición benigna	
	1.0
	5.0

(1) Aplicable para concretos expuestos a la abrasión (pisos, pavimentos, etc.)

(2) Si el material es producto de trituración se puede incrementar 1.5%.

(3) Esto se aplica cuando, alguna variedad de cuarzo, aparece como impureza. No se aplica a concretos hechos con agregados, donde predomina este material. Su sanidad se deberá basar, en la experiencia de su aplicación.

(4) Esta desintegración, es un rompimiento visible, en las partículas.

d) Forma y textura

Influyen más en las propiedades del concreto fresco que en el ya endurecido. Las partículas de textura rugosa, o bien las planas y alargadas, requieren más agua para producir un concreto trabajable, que las partículas redondas cúbicas. Por ende las partículas de agregados angulares requieren más pasta, pero la resistencia final y la adherencia pasta-agregado parecen depender más de la penetración física de la pasta en el agregado, que el de la rugosidad del mismo.

2.2.2.2 PROPIEDADES PARA LA DOSIFICACION DE MEZCLAS.

Además de los ensayos de calidad, se complementa el estudio de los agregados con los que sirven para formar las bases de dosificación de las mezclas de concreto:

a) La granulometría del Agregado (gradación) (ASTM C-33)

Es la distribución de los granos según su tamaño, se encuentra establecida en el % que pase, pero en términos generales los agregados que generan curvas granulométricas bien distribuidas o "parejas", es decir que no tienen exceso ni deficiencia de cualquier tamaño, producen

los mejores resultados.

La graduación de los agregados se define a partir de las curvas granulométricas, que junto con el módulo de finura determinan las características granulométricas de los mismos. El análisis de granulometría, se realiza con tamices que cumplan la norma ASTM E-

11

b) Módulo de finura de la arena (ASTM C-125).

El valor de este módulo, es función inversa de la finura de la arena y se obtiene, y se define como la suma de los porcentajes retenidos acumulados en las mallas estándar números 4, 8, 16, 30, 50 y 100 dividido entre 100 y el resultado se redondea al 0.1 más próximo.

Los límites que se han fijado en el módulo de finura (MF) para obtener concretos más adecuados son: 2.3 a 3.1. El módulo de finura es útil para estimar las proporciones de los agregados finos y gruesos en las mezclas para concreto.

c) Peso específico y absorción (ASTM C-127 y C-128).

El peso específico de los agregados, igual que el del resto de los materiales que forman el concreto, se determina usualmente para

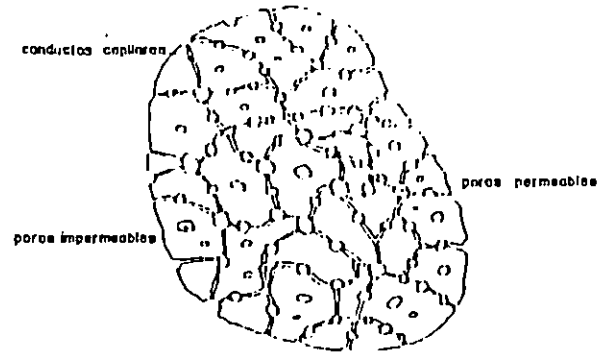
transformar las cantidades de cada uno de los materiales, para transformar un determinado volumen de concreto o, conocidos aquellos, cual es el volumen de concreto que producen.

Desde el punto de vista estricto de la física, el peso específico de un cuerpo es, el peso de su masa, dividido entre el volumen que este ocupa en el espacio. En el caso de los agregados, dentro de su masa existen vacíos impermeables, que no se pueden cuantificar con los métodos ordinarios del laboratorio; por esta razón, estos vacíos quedan incluidos en el volumen que ocupa la parte sólida de los agregados, obteniéndose así un volumen aparente, y en consecuencia, un "peso específico aparente". Por otro lado, para los fines que se desea este valor, no influye en la calidad de concreto.

La absorción: es la propiedad que tienen los agregados, para tomar agua del medio que los rodea, tendiendo a llenar los vacíos permeables de que está constituida la estructura interna de los materiales. Hasta ahora se hablado de vacíos impermeables y permeables. Es apropiado hacer un paréntesis y explicar brevemente la estructura interna de los agregados. En la fig. 2.4 de la pág. 52 se muestra en forma de esquema, tratando de hacerla objetiva, cuando de hecho, es una red muy compleja de conductos capilares y burbujas o cavidades; el conjunto de

todos estos vacíos, es porosidad del agregado.

Los vacíos permeables son aquellos en los que el agua puede penetrar por capilaridad y que con su secado al horno, a más o menos 110°C



hasta peso constante, esta misma puede ser

Fig. 2.4 Estructura interna de los vacíos de los agregados

extraída. la absorción, es producto del fenómeno de capilaridad y el agua que llena todos los vacíos permeables (considerando también la expansión que sufren los poros al saturarse), se llama "agua de absorción". Los vacíos impermeables, no permiten el paso del agua bajo estas condiciones, son poros relativamente aislados y rodeados por la parte sólida del agregado en forma estrecha.

Los conductos capilares son tan finos, que no permiten el paso de los granos de cemento y, el fenómeno de absorción le quita una cierta cantidad de agua a la pasta de cemento. Es muy importante entonces, cuantificar el agua de absorción de los agregados, para aplicar las medidas correctivas a la dosificación de las mezclas de concreto. Cuando

las partículas de agregado contienen toda el agua de absorción, se dicen que están en la condición de "saturadas y superficialmente secas" (SSS).

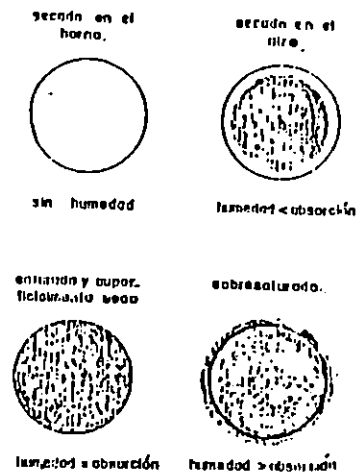
En estas condiciones de humedad, se suele determinar el volumen de los agregados, es decir, incluye también el volumen que ocupan los vacíos permeables. Con este volumen se determina "el peso específico grueso". En la determinación de este, se pueden tomar el peso del agregado en la condición SSS o en la condición seca (al horno).

Por último, se considera por razones prácticas, que el peso específico del agua es igual a 1 kg/lt. La relación del peso específico del agregado entre el del agua, físicamente se trataría del "peso específico relativo". Puesto que el peso específico grueso (en base SSS o seca), es el que más se emplea en la dosificación de los concretos y su relación con el peso específico del agua, daría un nombre difícil de manejar, se le llamará a este último, sencillamente "peso específico", aclarando la base en que se esté tomando su valor será adimensional. En aquellos casos en que se emplea el "peso específico aparente" de los agregados, se deberá aclarar oportunamente.

d) Contenido de humedad (ASTM C-566) y humedad superficial (ASTM C-70).

La condición de humedad ideal en los agregados es la SSS, pero esta

es muy difícil de mantener, porque constantemente las condiciones climatológicas están cambiando, por ejemplo: los agregados expuestos



al aire y el sol, se secan parcialmente y los ex-

puestos a la lluvias u otros agentes que proporcionen humedad, los pueden sobresaturar. En el primer caso, los agregados van a tomar el agua de absorción restante de la pasta de cemento y , en el segundo caso, le van a proporcionar agua. Por lo tanto, es necesario cuantificar el contenido de humedad de los agregados para poder hacer los ajustes convenientes a la mezcla. El método ASTM C-566, sirve para determinar las dos situaciones anteriores y, en forma práctica, el método ASTM C-70, sirve para determinar la humedad superficial de las arenas sobresaturadas, que generalmente son las que causan problemas de ajuste a última hora.

La figura 2.5 de la pág. 54, muestra las diferentes condiciones en que puede encontrarse los agregados.

e) Peso unitario (ASTM C-29 y CSA A23.2.10).

Esta característica de los agregados, es el peso del agregado seco por unidad de volumen que ocupan sus partículas, incluyendo los vacíos entre ellas. Para la dosificación del concreto, el peso unitario de la grava compactado en forma estándar con una varilla, permite calcular los vacíos en un volumen determinado de agregado, que a su vez, se emplea para determinar la cantidad de mortero necesario para llenarlos y dar la manejabilidad deseada.

2.2.2.3. Propiedades complementarias.

Existen otras propiedades de los agregados, que con poca frecuencia se utilizan o se especifican para su empleo. A continuación se presenta como información, una lista de estas propiedades y sus métodos estándar de obtención.

- Calor específico (CRD* C-124).
- Coeficientes de expansión térmica (CRD C-1225).
- Conductividad térmica.
- Equivalente de arenas.

- Estudio petrográfico (ASTM C-295).
- Forma de la partícula (CRD C-119) (BS** 812).
- Módulo de elasticidad y relación de Poisson.
- Permeabilidad.
- Porosidad (ASTM C-127 Y C-128)
- Textura Superficial (BS 812)
- Reactividad álcali-agregado (ASTM C-277)
- Resistencia a la compresión (BS 812)
- Tenacidad (ASTM D-3)

* Normas de cuerpo de Ingeniería del ejército de E.U.A.

** Normas Británicas.

El estudio petrográfico es un auxiliar valioso para los ensayos de rutina, porque puede proporcionar rápidamente datos sobre la sanidad y los compuestos de los agregados que pueden reaccionar con el cemento. Además, brinda una información relativa, del resto de las propiedades de los agregados.

2.3 FUNDAMENTOS IMPORTANTES

Cuando el concreto se hace correctamente, cada partícula del agregado deberá estar

completamente rodeado de pasta. A su vez la calidad de la pasta, depende de la relación entre la cantidad de agua y la cantidad de cemento usado.(relación agua/cemento).

La pasta debe sus propiedades de cementación a las reacciones químicas entre el cemento y el agua. En general se puede afirmar que a mayor relación agua cemento (a/c), la calidad disminuye, baja su resistencia y soporta menos cambios climáticos, por lo tanto la relación del agua al cemento ideal, debe ser tal, que permita la reacción entre todas las partículas de cemento y el agua de la mezcla, la cual es 0.38, pero esta debe aumentarse, para que el concreto sea manejable.

Una vez que se inicia la reacción, comienza el **fraguado**, que puede definirse como el cambio que sufre el concreto al pasar del estado fluido, a otro de rígido. Debe distinguirse el fraguado del endurecimiento, pues éste último término se refiere al aumento de resistencia de una pasta de cemento ya fraguado. La reacción del cemento con el agua, llamada **hidratación**, es un proceso durante el cual se forman al inicio, productos coloidales, los cuales son llamados: **gel**; según la hidratación aumenta, se generan productos sólidos, absorbiendo una gran cantidad de agua, produciéndose lo que se llama **autodesecación**, por lo que es necesario mantener un proceso de curado adecuado, pues de no realizarse, el aumento de temperatura y la evaporación del agua genera poros en el concreto.

El **calor de hidratación** se debe, a que el proceso de hidratación es exotérmico, y puede

liberar hasta 120 calorías/gramo. Si la masa de concreto es grande, un fuerte gradiente de temperatura puede generar agrietamientos o microfisuras, esto es debido a que la masa exterior del concreto se enfría más rápido que la masa interior.

2.4 PROPIEDADES DEL CONCRETO

2.4.1 CONCRETO FRESCO

Al salir de la mezcladora, el concreto es una masa fácilmente deformable, integrada por cuerpos en estados sólido y líquido y gaseoso. Si se admite que en ese momento el concreto es una mezcla homogénea de ingredientes bien proporcionados y dosificados, el primer objetivo es hacerlo llegar a los moldes en esas mismas condiciones de homogeneidad. Una vez colado en los moldes, el segundo objetivo es moldear el concreto hasta convertirlo en un cuerpo compacto, ya que muchas propiedades deseables del concreto endurecido se relacionan con su compactidad.

Para facilitar el logro de estos objetivos, la mezcla de concreto debe aportar dos condiciones necesarias:

1. Debe ser lo suficientemente cohesiva para conservar su homogeneidad en el curso de su traslado de la mezcladora a los moldes con el empleo de

los medios aprobados.

2. Debe poseer deformabilidad adecuada a la energía con que se compacte, conforme a las características de los equipos de uso especificados.

En consecuencia, los requisitos fundamentales que deben tenerse presentes al diseñar las mezclas de concreto son:

Que posean una cohesión satisfactoria y una consistencia adecuada a las condiciones de aplicación del concreto. Para materiales determinados, la satisfacción de estos requisitos depende en buena medida de las características que se obtengan en la pasta de cemento y de su participación proporcional en el concreto. El comportamiento de la pasta como cuerpo cohesivo y deformable suele depender de aspectos tales como la finura del cemento, la proporción en que se combine este con el agua y el uso de aire intencionalmente incluido. El requerimiento de pasta en el concreto es influido principalmente por la consistencia de ésta y por el tamaño máximo, composición granulométrica, forma y textura de los agregados.

Consistencia:

Resistencia que un material no newtoniano ofrece a la deformación.

Trabajabilidad:

Se define como la propiedad, que determina el esfuerzo requerido para manipular una cantidad de concreto recién mezclado, con una mínima pérdida de homogeneidad.²² Puede definirse también como el grado de facilidad o dificultad para colocar, consolidar y dar acabados a el concreto sin que sufra segregación o exude.

La trabajabilidad depende de la granulometría, forma del tamaño de los agregados y proporciones, por la cantidad de cemento y por la consistencia de la mezcla. El tamaño de los agregados mientras más pequeño sea, producen mejor manejabilidad, pero incrementan la demanda de pasta, que puede generar otros inconvenientes. Actualmente con aditivos tales como los plastificantes, superfluidificantes, inclusores de aire y otros, se mejora la trabajabilidad del concreto.

Esta propiedad es difícil de medir en el concreto fresco, por lo que se utilizan pruebas como el revenimiento con el cono de Abrams (ASTM C-143), para medir cualitativamente dicha propiedad.

El concreto debe ser trabajable, pero debe evitarse que exista una segregación

²² ASTM C-125, "Standard definitions of terms relating to concrete and aggregates", 1971, Annual book of ASTM Standards; C.N. 40 - 10712, Easton, Md USA, 1971

o un sangrado excesivo.

Segregación:

Es la falta de uniformidad en la mezcla, y consiste en la separación de los agregados gruesos de los finos y la pasta.

Exudación :

Es la falta de uniformidad en la pasta de la mezcla, que provoca una mayor concentración de agua en la superficie de la masa de concreto.

Sangrado:

Consiste en una forma de segregación, en la que el agua tiende a subir en la masa del concreto, debido al fenómeno de capilaridad y a la incapacidad de retención de los sólidos, gran parte de esta agua logra llegar a la superficie y otra parte queda atrapada pero segregada debajo de los agregados gruesos. Esto puede dar como resultado una capa superficial de baja durabilidad y débil.

Consolidación:

La vibración aplicada en el concreto fresco, pone en movimiento las partículas, reduciendo la fricción entre ellas, lo que le da cualidades móviles de un fluido denso. El vibrado mecánico permite la colocación económica de las mezclas.

2.4.2. CONCRETO ENDURECIDO

2.4.2.1 Durabilidad:

Se define como la resistencia a la acción del clima, a los ataques químicos, a la abrasión, o cualquier otro proceso en el que sufra deterioro. El concreto durable mantendrá su forma original, su calidad y sus propiedades de servicio al estar expuestos a un medio ambiente.²³

El concreto expuesto a un medio ambiente agresivo, para ser durable requiere que se analicen:

1. Diseño de la estructura para que se reduzca al mínimo la exposición a la humedad.
2. Baja relación agua/cemento
3. Inclusión de aire
4. Materiales adecuados (agregados)
5. Buena consolidación que genere alta densidad
6. Curado adecuado de la estructura
7. Un procedimiento constructivo cuidadoso

La Prueba de laboratorio ASTM C-666 denominada "Prueba rápida de

²³ ACI (201), "Durabilidad del concreto", Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., México, 4ª reimpresión, 1988, pág. 16 - 20

congelamiento y deshielo, mide la reducción del módulo de elasticidad dinámica del concreto, que indica la durabilidad relativa; pero estos resultados, han sido ampliamente analizados y discutidos, pero no se pueden predecir los resultados de forma segura, por lo que en la actualidad no existe una prueba que genere resultados cuantitativos para evaluar la durabilidad en términos exactos.

2.4.2.2 IMPERMEABILIDAD:

Para evitar los mecanismos de ataque al concreto, es importante minimizar los **Poros** en el material; la impermeabilidad de la pasta, depende principalmente de la relación Agua/Cemento, la duración del curado y la inclusión de aire.

Las filtraciones de los concretos, disminuyen en cuanto menor sea la relación Agua/Cemento, y el curado húmedo sea mayor. La inclusión de aire mejora la impermeabilidad al aumentar la densidad por la reducción de la segregación y el sangrado, dando manejabilidades mayores al disminuir la cantidad total de agua necesaria en el concreto, al volverlo plástico (deformable).

2.4.2.3 RESISTENCIA MECANICA

Entre las propiedades mecánicas más importantes en el concreto, se

encuentran:

2.4.2.3.1 LA RESISTENCIA A LA COMPRESION:

Es importante para el proyecto de estructuras, pues el concreto a tensión resiste muy pocas fuerzas antes de colapsarse.

Sin embargo en los pavimentos, losas sobre el terreno, paredes de concreto, etc. se utiliza la resistencia del concreto a flexión, cortante, y algunas veces a tensión. Por lo que se utiliza la resistencia a la compresión como indicador de la resistencia a estas fuerzas, una vez que se han determinado relaciones empíricas entre los materiales que se usan.

Los principales factores que afectan estas resistencias son la relación Agua/Cemento, y el grado en que haya avanzado la hidratación (tiempo de curado).

2.4.2.3.2 RESISTENCIA A LA ABRASION

Se define como la habilidad de una superficie para resistir el desgaste producido por fricción o frotamiento,²⁴ la abrasión de pisos y pavimentos puede ser consecuencias de operaciones de

²⁴ ACI Comitee 116, "Cement and Concrete Terminology, SP-19", American Concrete Institute, Detroit, pág 144

operación, del tráfico de peatones o vehículos; la resistencia a la abrasión es por lo tanto de importancia en el diseño y construcciones de pisos industriales. Las partículas arrastradas por el viento o el agua, también pueden erosionar la superficie de concreto. Las pruebas de laboratorio para evaluar la abrasión del concreto, aun se investigan, pues existen diferentes tipos de abrasión, y no se ha encontrado un método que sea eficaz en todos las condiciones. De acuerdo a las recomendaciones de Prior²⁵, se consideran 4 tipos de abrasión:

1.Desgaste de pisos de concreto debido al tráfico de peatones y vehículos ligeros, patinazos, raspaduras o deslizamientos de objetos sobre la superficie (frotamiento).

2.Desgaste de las superficies de caminos y carreteras de concreto debido a camiones pesados y automóviles con llantas con tachones, cadenas (rozamiento, raspado y percusión).

3.Erosión de estructuras hidráulicas tales como presas, túneles, tuberías y estribos de puentes, debido a la acción de materiales

²⁵ ACI (201) "Durabilidad del Concreto", Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, A.C., Ed. Limusa, 4^a reimpression, 1988, México D.F., pág. 38-41.

abrasivos llevados por la corriente de agua.

4.Desagüe de presas de concreto, vertederos, túneles y otros sistemas de conducción de agua en los que se presentan altas velocidades y presiones negativas. Este tipo se conoce generalmente como erosión por cavitación.

No es posible fijar aún límites precisos para la resistencia al concreto a la abrasión por lo tanto la resistencia al desgaste se mide en valores relativos como pérdida de peso o volumen, profundidad del desgaste o inspecciones visuales. En 1974 la ASTM adoptó la publicación C-779 "Standard Method of Test for Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Structures". Esta publicación incluye tres procedimientos de pruebas alternativos que son:

- 1.La adopción de un disco giratorio a la máquina de Schuman y Tucker.
- 2.La máquina de la rueda de pulido
- 3.La máquina de bolas rodantes.

Los factores principales que afectan la resistencia del concreto

a la abrasión principales son:^{*26}

1. Resistencia a la compresión
2. Propiedades de los agregados
3. Métodos de acabado superficial
4. Proceso de consolidación
5. Uso de cubiertas o recubrimientos
6. Curado

2.4.2.3.3. RESISTENCIA A LA TENSION:

Es difícil determinarla, pues el concreto a tensión uniaxial, se comporta como un material frágil. Para concretos en tensión axial, tanto la resistencia como las deformaciones son aproximadamente la décima parte (1/10) de los valores a compresión axial sin embargo la relación no es lineal para toda la escala de resistencias.^{*27}

²⁶ ACI (201) "Durabilidad del Concreto", Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto A.C., Ed. Limusa, cuarta reimpression, México D.F., 1988, pág. 38-41

²⁷ Oscar M. Gonzalez, F. Robles, J. Casillas, Roger Díaz, " Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado", Ed. Limusa, 6ª reimpression, México 1981, pág 34

2.4.2.4 RESISTENCIA QUIMICA

Existen ciertos ambientes químicos-agresivos en los que la vida del mejor concreto será corta. Generalmente el concreto no es atacado por sustancias químicas secas y sólidas, para deteriorarlo las sustancias deben estar en solución y sobrepasar un mínimo de concentración. El concreto es más vulnerable cuando se encuentra bajo el ataque de sustancias agresivas en solución ejerciendo presión sobre alguna de sus superficies, pues la presión tiende a forzar la solución agresiva dentro del concreto.

El comite ACI-515 y la Portland Cement Association, han preparado tablas en los que se resumen los efectos de una gran variedad de sustancias químicas. En la tabla 2.9 de la pág. 69, se resumen los efectos dañinos con la velocidad de ataque a temperatura ambiente de algunas sustancias químicas más comunes que atacan el concreto.

TABLA 2.9 Efecto de sustancias químicas comunes en el concreto.*²⁸

Velocidad de ataque a temperatura ambiente	Acidos inorgánicos	Acidos orgánicos	Soluciones alcalinas	Soluciones salinas	Varios
Rápida	Clorhídrico Fluorhídrico Nítrico Sulfúrico	Acético Fórmico Láctico	—	Cloruro de aluminio	—
Moderada	Fosfórico	Tánico	Hidróxido de sodio 20%	Nitrato de amonio Sulfato de amonio Sulfato de sodio Sulfato de magnesio Sulfato de calcio	Bromo (gas) Sulfito líquido
Lenta	Carbónico		Hidróxido de sodio 10-20 % Hipoclorito de sodio	Cloruro de amonio Cloruro de magnesio Cianuro de sodio	Cloro (gas) Agua de mar Agua dulce
Despreciable	-----	Oxálico Tartárico	Hidróxido de sodio al 10 % Hipoclorito de sodio Hipoclorito de amonio	Cloruro de calcio Cloruro de sodio Nitrato de zinc	Cromato de sodio Amoniaco líquido

* Evítese el uso de agregados silíceos, ya que son atacados por soluciones concentradas de hidróxido de sodio.

Debe considerarse que existen numerosos factores que influyen en el deterioro, los cuales son:

Factores que aumentan el deterioro:

Temperaturas altas

Velocidades de fluidos incrementados

Mala consolidación del concreto

²⁸ ACI (201) "Durabilidad del Concreto", Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., Ed. Limusa, 4ª reimpresión 1988, México D.F., pág. 31

Curado defectuoso

Humedecimiento y secado cíclico

Corrosión del acero de refuerzo

Factores que disminuyen el deterioro:

Menor relación Agua/Cemento

Tipo adecuado de cemento (algunos casos)

Baja absorción

Baja permeabilidad

Por lo expuesto anteriormente la tabla 2.9. es solamente una guía preliminar

2.5 CONCRETO EN EL SALVADOR

2.5.1 METODOS DE ELABORACION

Actualmente, en el país se elabora concreto utilizando diferentes procesos, de acuerdo a varios factores; por ejemplo:

- a) MAGNITUD DE LA OBRA
- b) DISPONIBILIDAD ECONOMICA
- c) ACCESO DE EQUIPO Y MATERIALES

a) Magnitud de la obra

El tamaño de la obra física a edificar influye significativamente en la elaboración del concreto, debido principalmente al tamaño y número de elementos a colar, y la forma de hacerlo (continua o simultánea); en cada proyecto debe escogerse el equipo productor de concreto para mezclarlo en un volumen adecuado al proceso de colado escogido. No puede esperarse en términos de eficiencia, que se construyan grandes elementos de concreto, elaborando éste con mezcladoras de una bolsa, peor aún, si se hace manualmente; Por el contrario, no resulta factible hacer unos cuantos metros de acera utilizando equipo mezclador de mucha capacidad; De esto se deduce que para cada proyecto deberá escogerse el equipo para producir concreto adecuado al tamaño que este tiene.

b) Disponibilidad económica

Aún cuando en ocasiones la magnitud de la obra, permita el uso de equipo que produzca grandes volúmenes, si el constructor no tiene los recursos económicos para contratar o adquirir el equipo adecuado; debe limitarse al uso del equipo que esté disponible.

c) Acceso de equipo y materiales

La posición física (ubicación geográfica) del proyecto puede limitar la producción del concreto, por ejemplo puede darse el caso que a la zona de trabajo sea imposible un acceso para introducir al proyecto equipo pesado (Concreteteras, Camiones Mezcladores, etc.) por lo que sea más factible transportar los materiales, o explotarlos en el área y preparar manualmente el concreto.

El concreto se elabora utilizando dos procedimientos que son:

2.5.1.1 MANUAL

Normalmente para obras de poco volumen como aceras, cunetas, llenos de bloque, etc., Un grupo de hombres bien entrenados pueden fabricar porciones o "bachadas" de concreto de 1, 2 ó 3 bolsas de cemento como máximo para obtener una mezcla homogénea de todos los materiales que componen el concreto. Aunque aparentemente es más económico, este método es poco recomendable debido a la dificultad que se presenta para lograr mezclas homogéneas, ya que para ello se necesita de personal con suficiente experiencia y una vigilancia técnica constante; además es difícil evitar excesivas fluctuaciones en la calidad del concreto, debido a la variación que se genera principalmente en la relación agua/cemento.

2.5.1.2 MECANICO

a) MEZCLADORAS MANUALES

Las más utilizadas en el país, son las mezcladoras mecánicas de una bolsa, aunque se utilizan también de dos y tres bolsas. Estas máquinas son operadas por una persona, y son remolcadas al frente de trabajo para fabricar el concreto in situ; Los materiales para elaborar el concreto, también son transportados hasta la obra por separado, para ser mezclados en el mismo frente de trabajo. Este método aventaja al mezclado manual en varios aspectos:

- a) Se obtiene una mezcla mucho más homogénea
- b) El tiempo de mezclado es menor
- c) Hay menos desperdicios de materiales, etc.

Las mezcladoras se usan para obras de tamaño medio y que requieren controles de calidad en los materiales y procesos constructivos.

b) EQUIPOS DE PREMEZCLADO POR PESO

En el país existen empresas que fabrican concreto premezclado según las especificaciones requeridas por el comprador, usando equipos que dosifican los materiales por peso, cargándolos en camiones mezcladores, que transportan el concreto hasta la obra, para descargarlo en la zona donde será colocado, o lo más cerca posible.

Se entiende por **concreto premezclado** al concreto hidráulico dosificado y mezclado por un fabricante de concreto, que lo entrega a un comprador en estado plástico no endurecido. Este concreto debe cumplir con las especificaciones dadas por el comprador, o con las establecidas por normas o documentos contractuales. Este método facilita mucho el trabajo al constructor, que sólo debe esperar el camión a la hora indicada, con todo lo necesario ya listo (personal, equipo, zona de colado preparada, etc.) Este método resulta más económico y adecuado en obras de colado masivo, o donde puedan colocarse considerables volúmenes de concreto.

2.5.2 DOSIFICACION.

Actualmente, en la mayoría de los casos, el concreto es fabricado mediante dosificaciones que son proporcionadas por peso se lleva a cabo partiendo de las propiedades individuales de cada componente, hasta realizar mezclas de prueba, para obtener especímenes de concreto (cilindros), para ensayarse.

Las dosificaciones pueden ser fabricadas por peso o por volúmenes, aunque en campo es más practica la dosificación por volumen. Cuando se utiliza la dosificación por volumen, esta se realiza tomando como unidad fija una bolsa (1 pie³ ó 42.5 Kgs.) de cemento.

Para la medición de los materiales, son empleadas "parihuelas" (cajas) de madera que contienen el volumen específico de cada agregado. También es frecuente que se usen depósitos plásticos de regular tamaño, como cubetas de pintura, por ejemplo, que permitan una medición acertada de los materiales. No es nada recomendable emplear en la dosificación depósitos deformables, de geometría irregular o de difícil calibración como por ejemplo: valdes, carretillas, huacales, etc. pues éstos pueden afectar la dosificación y consecuentemente, las propiedades del concreto.

2.5.3 MANIPULACION Y COLOCACION DEL CONCRETO

Tradicionalmente, en El Salvador no se ha tenido una norma o línea a seguir definida en cuanto al manejo y colocación de concreto. Existen individuos entre los obreros salvadoreños que después de trabajar en la industria de la construcción por largo tiempo, debido su escasa o nula tecnificación, continúan elaborando concreto de manera inadecuada practicando costumbres como: usar cantidades excesivas de agua en la mezcla; fabricar el concreto con agregados contaminados de arcillas y polvo; utilizar agua de ríos contaminados; dejar el concreto sobrante envuelto en plástico "para que no sude" y posteriormente sólo agregarle más agua "para que ablande", y poderlo usar otra vez, etc.

En cuanto a la medición del agua, suelen usarse depósitos con un volumen estable (es decir que no se deformen con facilidad) previamente calibrados.

Anteriormente en la industria de la construcción, se manejaba la idea que el agua sólo era para "aguadar" la mezcla, y esta era adicionada al concreto, sin más medición que el cálculo del empírico, usando desde baldadas, hasta "chorritos" de manguera, según el gusto y creencia de cada persona.

Gracias a la divulgación de información técnica expuesta de manera sencilla, y la implementación de escuelas y cursos, preparaciones técnico-prácticas, etc. Para que sea comprensible aún a personas con poca preparación, de parte de organizaciones involucradas en la industria del cemento y la construcción, casos como los mencionados van desapareciendo, y el personal no calificado en la industria de la construcción va comprendiendo cada vez más el comportamiento real del concreto.

Además, ahora se establece una mejor comunicación entre constructores y supervisores, tanto a nivel de oficina como de campo, lo que permite tener mayor control en la calidad del concreto fabricado, y los métodos a utilizar para manipularlo y colocarlo.

El cemento utilizado en la Industria de la construcción Nacional, salvo raras excepciones, es provisto por cementeras nacionales que mantiene el control de calidad necesario para dar un producto conforme a las normas ASTM C-150/76, y C-595/86 (según se anuncia en sus empaques), entonces las eventuales

anomalías en el concreto debidas al cemento, serán provocadas solamente por situaciones ocurridas después de su fabricación. La problemática más común asociada al cemento es la acusada por la prehidratación de éste, en la cual debido al humedecimiento de las bolsas durante su transporte o almacenamiento, las partículas de cemento reaccionan con el agua presente y endurecen dentro de la bolsa, formando desde pequeñas "piedrecillas", hasta una sola masa pétreica que comprende la totalidad del contenido de la bolsa. Como es sabido, este cemento ya hidratado no puede tener una segunda reacción, por lo que no debe usarse; Sin embargo, algunas personas suponen que con elevar el porcentaje de cemento en la mezcla el problema puede ser superado. Pero ¿Cuanto cemento más debe agregarse?, ¿Se conoce acaso el grado de reacción vigente en esa bolsa de cemento?, ¿Qué hacer con las partículas inertes de cemento? Todos estos elementos completan las razones para no usar un cemento que ya ha sido hidratado, pretensión por demás errada.

Cabe mencionar la existencias de ciertos márgenes de tolerancia utilizados en el diseño de las dosificaciones que son utilizados por el diseñador. Estos márgenes permiten mayor libertad en la fabricación del concreto, haciendo de ello una práctica flexible, con la garantía de obtener las propiedades requeridas. por otro lado, estos sobre diseños mantienen en rangos tolerables los resultados de las fluctuaciones que absorbe dificultades que podrían presentarse debido a la variación de condiciones entre el laboratorio y el frente de trabajo; Por ejemplo:

- Humedad de los Agregados
- Variaciones en la Humedad Ambiental
- Temperatura Ambiental
- Velocidad del Viento
- Grado de exposición superficial al medio ambiente en el concreto
- Radiaciones y calor solar.
- etc.

La consideración más importante es la de evitar la separación del agregado grueso del concreto, por lo que deberán tomarse todas las precauciones necesarias a fin de evitar la separación del agregado y deberán tenerse presente que esta separación debe prevenirse desde el principio y no tratar de corregirlo después.

Deberá procurarse, hasta donde sea posible que el concreto se deposite en su posición final evitando así una segregación de los materiales. El colado deberá hacerse a una velocidad tal que el concreto se conserve siempre plástico es decir que pueda fluir fácilmente en los espacios donde se ha de colocar finalmente; El colado deberá hacerse como una operación continua hasta que se complete el lleno de toda la estructura que se ha previsto colar.

Durante su colocación, el concreto deberá consolidarse completamente siendo este aspecto muy importante y no deberá descuidarse jamás en un colado de concreto.

2.6 CURADO DEL CONCRETO.

El concreto por ser un material hidráulico se desarrolla con mayor eficiencia en un medio húmedo, es decir que sus propiedades: resistencia al congelamiento y la fusión, resistencia a los esfuerzos, impermeabilización, resistencia al desgaste, y estabilidad de volumen mejoran con la edad, mientras las condiciones para la continua hidratación del cemento sean favorables. Existen dos condiciones para que se produzca esta mejora en la calidad: presencia de humedad y temperatura favorable. El concreto puede mantenerse húmedo (y, en algunos casos a temperatura favorable) por varios métodos de curado que pueden ser:

- a) Por inundación: en este método se forma un dique perimetral con arena, mezcla, etc. y se inunda de agua la superficie.
- b) Aspersión: en este se hace un rociado de agua en forma intermitente.
- c) Cubiertas mojadas: colocación de cubiertas mojadas, material o tejidos que retengan la humedad, por ejemplo bolsas de henequén.
- d) Compuestos para curar concreto: estos son compuestos químicos líquidos que forman membranas que retardan o impiden la evaporación del agua del concreto.
- e) etc.

La duración del período de curado va desde 3 días hasta 14 días en las obras dependiendo del tipo de cemento, proporción de la mezcla, aditivos y las condiciones atmosféricas.

CAPITULO TRES

CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO

3.1 INTRODUCCION.

En otros países desde hace más de un siglo, el concreto estructural ha sido producido de manera rutinaria con resistencias a los 28 días en el rango de los 200 a 300 kg/cm². Ocasionalmente cuando circunstancias especiales lo requerían, concretos de mayores resistencias fueron necesarios, y el concreto así producido era llamado: "*CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA*". Hace unos 30 años el nombre de concretos de alta resistencia, era aplicado a concretos con más de 400 kg/cm², llegando hasta los 600 kg/cm². *²⁹

Tales concretos no se produjeron rutinariamente pero se creyeron insuperables. Sin embargo, en los últimos 15 años, concretos con mucha mayor resistencia han entrado al campo de la construcción de edificios de gran altura y puentes: 900, 1000, y 1100 kg/cm² *²⁹. Todas estas resistencias se han alcanzado de manera consistente y rutinaria.

Ultimamente, la industria química ha descubierto nuevos aditivos, que con el uso de materiales cementantes (ceniza volante, puzolana y microsíllica), ha permitido a la industria desarrollar concretos con altas propiedades mecánicas, estructurales y de durabilidad. Esta nueva generación de concreto se está definiendo con el término: "Concreto de Gran Comportamiento", (CGC). La definición aceptada para este tipo de

²⁹ Aitcin, P. C.; and Neville A. "High-Performance Concrete Demystified" Revista: Concrete International, Enero 1993, pág.20-21

"Concreto con propiedades diseñadas, y con tal uniformidad y comportamiento especial, que no se pueden obtener normalmente usando componentes comunes en la mezcla, colocación y curado"³⁰. Entre las características especiales de este concreto se destacan:

- Facilidad de colocación y consolidación sin segregarse.
- Propiedades mecánicas a corta y larga edad.
- Alta resistencia.
- Gran resistencia al impacto y a la abrasión.
- Gran estabilidad de volumen.
- Gran durabilidad en condiciones y ambientes severos.

El uso de Concreto de Gran Comportamiento, se está incrementando en Japón, Canadá, Noruega, Estados Unidos y Francia.

3.2 NOCIONES GENERALES.

Antes que nada, debe explicarse la aparente inconsistencia entre los términos: concreto de alta resistencia y concreto de gran comportamiento; es normal llamar al concreto con más resistencia que la usual, con el nombre de "concreto de alta resistencia". Sin embargo en los usos prácticos de este tipo de concreto, el énfasis en la resistencia

³⁰ Moreno Jaime, "Concreto de Gran Comportamiento (High-Performance Concrete)", Revista ASIA N° 106 Diciembre 1992. Pág.34

compresiva ha ido cambiando gradualmente hacia la importancia de otras propiedades del material, como el incremento en el módulo de elasticidad, alta densidad, baja permeabilidad, y resistencia a ciertos tipos de ataques. Por esta razón, es lógico describir dicho material con el término de **Concreto de gran comportamiento (CGC)**, que abarca mayores significados.

Los beneficios de usar el CGC son muchos, pero sólo tienen valor cuando puede sacárseles provecho. Hasta la fecha, el aprovechamiento ha sido principalmente en edificios altos, puentes, y en estructuras bajo condiciones de extrema exposición.

La diferencia entre el concreto de resistencia normal (CRN) y el CGC es el conocimiento como el factor vital. Los materiales en ambos tipos de concreto son iguales: cemento portland, agregados, agua y aditivos. Para ser más explícitos referente a los materiales que los componen, se debe mencionar que los CGC invariablemente contienen un reductor de agua de alto alcance (superplastificante), mientras que el CRN sólo lo contiene de vez en cuando. En lo que se refiere a otros ingredientes, como retardantes, ceniza volante, escoria de altos hornos y polvo de sílice, pueden o no, estar presentes en cualquiera de estos tipos de concreto.

La habilidad necesaria para producir CGC, consiste en un conocimiento específico de las propiedades de los materiales componentes y su interacción. El resultado decisivo de esta habilidad es una proporción de agua/cemento (a/c) extremadamente baja acoplado

a un manejo satisfactorio al momento de consolidarlo.

El reductor de agua en la fabricación del CGC es necesario para disminuir la relación a/c, manteniendo la mezcla en condiciones de poderse trabajar. De no utilizar este aditivo, para mantener la relación agua/cemento sería necesario elevar excesivamente la cantidad de cemento, lo que acarrea altos costos de producción, problemas térmicos y de contracción en la mezcla.

La dificultad de poder trabajar la mezcla se manifiesta en sentido amplio, por la tendencia de los granos de cemento a flocular y por ende a retener el agua y a oponer resistencia durante la consolidación. Sin entrar en detalles sobre las cargas eléctricas superficiales y otros, se puede decir que los reductores de agua de alto alcance, defloculan las partículas de cemento y así se produce una mezcla fluida, para que un contenido bajo de agua sea suficiente para trabajarla adecuadamente. Según Neville³¹, es posible obtener mezcla con un revenimiento de 180 a 200 mm (7 a 8 pulgadas) a una relación a/c de entre 0.2 a 0.3 (basado en el agua libre en la mezcla). Estos valores corresponden a un contenido de agua de 125 a 135 lts/m³ (25 a 27 galones por yda³) de concreto, contra 180 a 200 lts/m³ (36 a 40 galones por yda³) en el concreto normal sin aire incluido con un revenimiento de 100 a 120 mm (4 a 5 pulg). Este es el secreto aparente para hacer el CGC.

³¹ Aitcin Pierre Claude and Neville Adam, "High-Performance Concrete Demystified", Revista Concrete International-, Enero 1993. Pág. 22-23

3.3 PARAMETROS IMPORTANTES EN EL CGC

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

- 3.3.1) relación agua/cemento.
- 3.3.2) Proporción óptima de agua/cemento.
- 3.3.3) Matriz del concreto.

3.3.1 RELACION AGUA CEMENTO.

Este es el factor fundamental para conseguir CGC en general, se puede decir que si se pretende obtener concreto con una resistencia superior a los 500 kg/cm², la relación Agua/cemento tiene que ser necesariamente inferior a 0.4. Las relaciones normalmente empleadas están alrededor de 0.35. Para los CGC (cercaos a los 1020 kg/cm²), dicha relación suele bajar de 0.30.^{*32}

El aumento de resistencia al disminuir esta relación tiene un límite: cuando la relación de agua/cemento se aproxima al valor necesario para completar una correcta hidratación del cemento, la resistencia no continúa aumentando, incluso puede llegar a disminuir. Este valor límite aún no esta bien definido, porque

³² Fernández Cánovas, Manuel y Alajeos Gutierrez Pilar, "Composición y Dosificación de hormigones de alta resistencia". Revista Cemento y Hormigón No 709, agosto 1992 Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones Pág. 974

puede llegar a disminuir. Este valor límite aún no está bien definido, porque investigadores como Cánovas y Gutierrez Pilar ³³ la sitúan en 0.27, mientras que Aitcin y Neville ³⁴ reportan dicho límite como 0.22.

Este problema es más complicado cuando se utilizan adiciones minerales como la microsilica. Para que la acción puzolánica se produzca 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, restándose 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 ya que parte del agua colabora en las reacciones puzolánicas. El valor de la relación a/c crítica, por debajo de la cual no se produce aumento de resistencia, e incluso puede producirse una disminución, depende entre otros factores, del tipo de adición y de la cantidad de ésta presente en la mezcla.

Como conclusión en cuanto menor sea la relación a/c del concreto, mayor será la resistencia; siempre que el agua añadida a la mezcla sea suficiente para hidratar

³³ Fernández Cánovas, Manuel y Alajeos Gutierrez Pilar, "Composición y Dosificación de hormigones de alta resistencia". Revista Cemento y Hormigón No 709, agosto 1992 Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones Pág. 974.

³⁴ Aitcin Pierre Claude and Neville Adam, "High-Performance Concrete Demystified", Revista Concrete International, Enero 1993. Pág. 22-23.

* 34.5 Revista Cemento Hormigón No. 704 Agosto 1992.

convenientemente el cemento y completar las reacciones puzolánicas de las adiciones activas. Si el agua de la mezcla es igual a este valor en el mejor de los casos no se obtendrán incrementos de resistencias, y además se tendrán mezclas intrabajables.

3.3.2 PROPORCION OPTIMA DE AGUA/CEMENTO.

El numeral anterior lleva a una serie de preguntas:

- ¿Hay un mínimo en la relación a/c?.
- ¿Porqué usar más cemento del que se pueda hidratar?.
- ¿Hay una relación óptima a/c para maximizar la resistencia a la compresión?.

Se explicará en el numeral 3.3.3 que la resistencia a la compresión del CGC depende no solamente de la relación a/c, sino también de la densidad de la matriz resultante. Además, la resistencia del concreto puede ser reducida por la resistencia del agregado, como también se demostrará más adelante. En otras palabras, a primera vista parecen existir dos factores influenciando la resistencia del CGC. La relación a/c y la reducción de la distancia entre las partículas del cemento al principio de la hidratación.

Es bien sabido que la resistencia a la compresión está relacionada inversamente

a la a/c. En el caso del CGC, un incremento en la densidad de la matriz también incrementa la resistencia. La combinación de los dos efectos la relación a/c y la densidad de la matriz proporciona una situación en la cual el a/c influencia solamente por encima de un cierto valor mínimo de esta proporción. Para los cementos portland y los superplastificantes, 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 del a/c es cerca de 0.22 ^{*35}, la influencia del a/c es operativa; valores más bajos del a/c son perjudiciales porque una densidad alta adecuada de la matriz no se puede obtener. Sin embargo, porque este valor aun no esta bien definido, es conveniente siempre que sea posible utilizar relaciones a/c mayores.

Sería apropiado añadir que a pesar del uso de una relación a/c muy bajo, el CGC puede requerir aire incorporado para una adecuada protección contra la repetición de ciclos de congelamiento y de deshielo, aunque El Salvador es un país tropical y este fenómeno no se observa; en estructuras que se encuentran en contacto con la humedad, el aire incorporado al concreto puede utilizarse para mejorar la impermeabilidad.

³⁵Aitcin Pierre Claude and Neville Adam, "High-Performance Concrete Demystified", Revista Concrete International, Enero 1993. Pág. 22-23

3.3.3 MATRIZ DEL CONCRETO.

El éxito de usar el CGC está condicionado a una consolidación completa del concreto y el uso de un reductor de agua de alto alcance, para lograr que concretos con baja relación a/c sean trabajables. Este fenómeno puede explicarse de la siguiente manera: La 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 de cemento más densa que el concreto normal, y los productos de hidratación del cemento se funden rápidamente. En virtud de esta matriz de alta densidad, además de los enlaces químicos creados por los hidratantes (que también existen en el concreto normal), se obtiene una resistencia a la compresión muy grande; ya que el agua de mezcla se combina química y físicamente con el cemento y se pierde por autodesecación, la pasta de cemento hidratada en el CGC tiene muy baja porosidad.

Dicha característica en la pasta del CGC contrasta con la del concreto normal, 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 CGC. La situación está ilustrada en la fig. 3.1³⁶ de la página 91, que también demuestra que en el CGC, una significativa proporción de las partículas originales del cemento se mantienen sin hidratar, permanentemente. Se

³⁶ Aitcin Pierre Claude and Neville Adam, "High-Performance Concrete Demystified", Revista Concrete International, Enero 1993. Pág. 22.

puede añadir que, 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; el grado de hidratación del cemento no es importante, siendo la parte del cemento no hidratado un agregado bien ligado aunque caro.

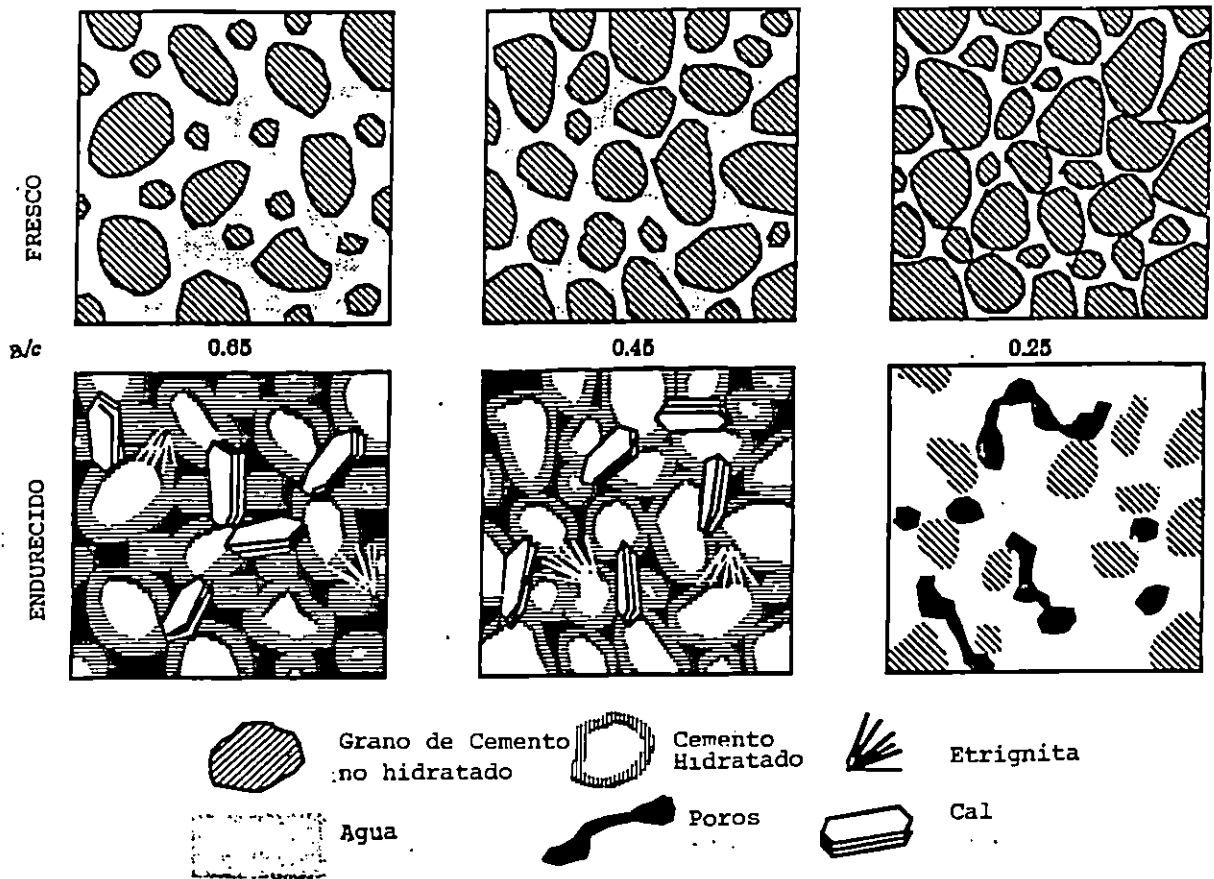


Fig. 3.1 Composición de pasta de cemento fresco y endurecido a la máxima hidratación, con varias relaciones agua/cemento.

3.4. COMPONENTES DE LA MEZCLA.

Los materiales que componen al CGC, son sustancialmente los mismos del concreto normal, pero sus proporciones son distintas. Esto es especialmente cierto con respecto al contenido de agua de la mezcla, junto con una dosis grande de reductor de agua de alto alcance. Sin embargo, los tipos de materiales utilizados en el CGC variarán dependiendo del uso que se dé a la estructura en que se utilizará este concreto. Los usos más comunes de variedades de CGC han sido diseñados para alta resistencia o mejoras en la durabilidad.

Típicamente incluyen un superplastificante en inglés High-range water-reduction agent (HRWRA), inhibidores de corrosión, microsílica (sílica fume), ceniza volante (fly ash), o escorias (slags), en la mayoría de los casos, combinaciones de estos materiales, producen los mejores resultados.

3.4.1 CEMENTO.

El cemento no tiene que ser especial, son válidos los cementos comerciales disponibles en el mercado. Sin embargo, se les deben exigir al menos las siguientes cualidades:

Que sea un cemento de composición uniforme. Las diferencias detectadas entre partidas diferentes producirán un efecto directo sobre las resistencias del concreto, las diferencias en la composición química de cementos pertenecientes a diferentes

partidas pueden provocar problemas de efectividad con los superplastificantes.

El utilizar un tipo específico de cemento dependerá de diversos factores. Uno de ellos es la disponibilidad de uno u otro cemento en el lugar donde se va a utilizar. Aunque el tipo I pm es el que se fabrica en el país, puede conseguirse la elaboración de otro tipo de cemento en las fábricas nacionales, si el volumen a utilizarse es grande, o importarlo del extranjero. Por otra parte, es fundamental el nivel de resistencia que se quiera alcanzar en el concreto.

Otro factor que puede influir en la decisión es la compatibilidad del cemento con el aditivo superplastificante. Los cementos que suelen tener una finura de molido mayor, producen en general una menor efectividad de los superplastificantes para conseguir consistencias aceptables. La combinación de todos estos factores será la que determine la elección de una u otra categoría de cemento, así como la aplicación específica que se quiera dar al concreto.

Un aspecto fundamental a la hora de seleccionar el cemento para la fabricación del CGC es como se ha indicado su compatibilidad con el aditivo superplastificante. Para las relaciones agua/cemento habitualmente empleadas en este concreto es necesario utilizar estos aditivos químicos. Su efectividad con un cemento determinado depende de varios factores (la finura entre ellos, como ya se comentó anteriormente), y la composición química del cemento que es

fundamental en este sentido. Un mismo Superplastificante se comporta de manera diferente con un cemento distinto aún cuando pertenezcan a la misma categoría. Aunque el origen de este comportamiento aún no es del todo conocido, al parecer depende del contenido del **aluminato tricálcico** del cemento. Sin embargo, por el momento no existe la posibilidad de conocer con anterioridad de qué manera un determinado plastificante se comportará con un cemento específico, y por ello es necesario ensayar distintas combinaciones (bien con distintos cementos o con distintos aditivos), hasta encontrar la mejor.

Dentro de las dosificaciones de cemento por debajo de los 400 kg/m^3 , y para una misma relación agua/cemento los concretos que tienen más cantidad de cemento poseen una resistencia mayor. Sin embargo en CGC, donde se suelen superar los 400 kg/m^3 de contenido de cemento, aumentos excesivos del contenido de pasta no aumentan la resistencia del concreto, y pueden llegar a disminuirla. Existe una dosis óptima de cemento, en cuanto a resistencia se refiere, para cada tipo de componente. Se recomienda, hacer ensayos variando este parámetro. Las dosificaciones de cemento habitualmente empleadas para fabricar CGC oscilan de 400 a 500 kg/m^3 ^{*37}. En ocasiones, cuando se quiere reducir mucho la relación agua/cemento, y el contenido del agua de mezcla no da la consistencia adecuada, puede ser necesaria una cantidad de cemento por encima del óptimo que da la

³⁷ Fernández Cánovas, Manuel y Alajeos Gutierrez Pilar, "Composición y Dosificación de hormigones de alta resistencia". Revista Cemento y Hormigón No 709, agosto 1992 Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones Pág. 979.

máxima resistencia, permitiendo así añadir más agua manteniendo la relación agua/cemento.

3.4.2 SUPERPLASTIFICANTE ^{*38}

Los reductores de agua de alto rango, comúnmente llamados **Super reductores de agua o Superplastificantes**, originalmente fueron desarrollados en Japón y Alemania; y han sido utilizados ampliamente en la construcción desde la década de los 70's.

Las mezclas con superplastificante se comportan como los reductores convencionales en el hecho que reducen las fuerzas intermoleculares existentes entre los granos de cemento en la pasta fresca, lo que incrementa la fluidez de la pasta. Por tanto, es posible producir mezclas de concreto altamente trabajables con bajas relaciones agua/cemento, logrando así altas resistencias tempranas y tardías.

3.4.3 LA COMPATIBILIDAD ENTRE EL CEMENTO Y EL REDUCTOR DE AGUA DE ALTO ALCANCE

Esencialmente, el problema es que no todo el cemento portland que cumple con

³⁸ Gebles S.H., "The effects of high-range water reducer on the properties of freshly mixed and hardened flowing concrete" (RD081.01T). Portland Cement Association, 1982

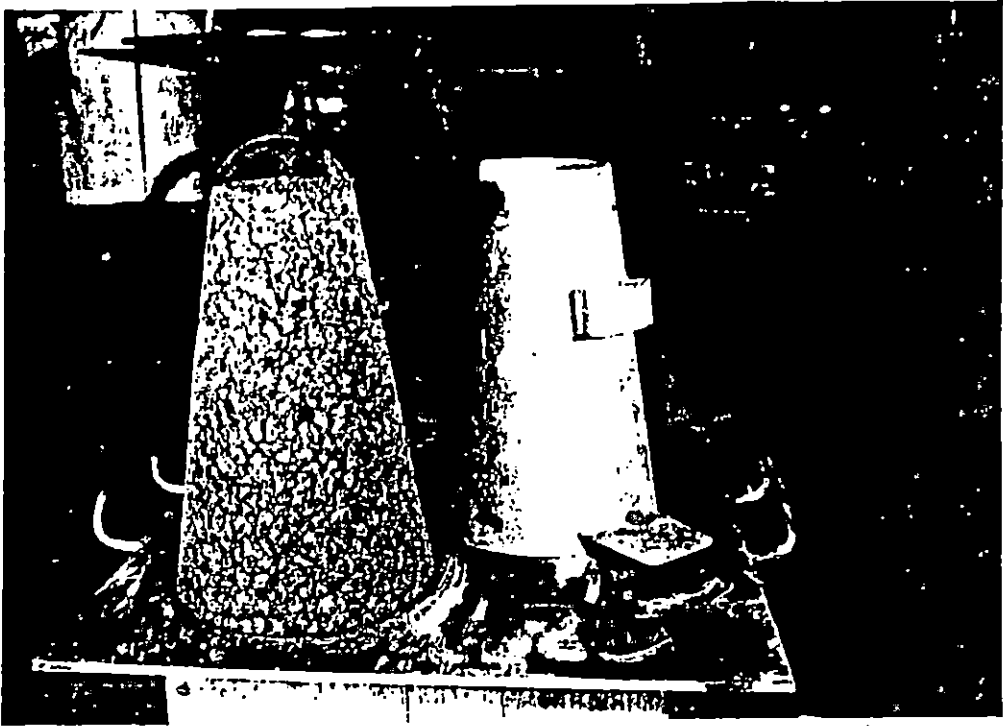


Fig. 3.2 La combinación superplastificante-cemento es vital en la trabajabilidad del concreto

las normas apropiadas, tiene el mismo comportamiento reológico cuando se usa con un cierto reductor de agua de alto alcance y una proporción bien baja de agua/cemento. Igualmente, no todo reductor de agua de alto alcance 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 del superplastificante, en el caso del CGC esta situación es más grave que cuando se utiliza en el CRN.

La necesidad de usar un reductor de agua en la fabricación del CGC amerita una breve explicación. Sin un reductor de agua de alto alcance, aún con aditivos ordinarios para reducir el agua, el contenido del agua en la mezcla no se puede reducir mucho, pues esto resultaría en una mezcla que no se podría trabajar. Al mismo tiempo, la cantidad de cemento no se puede elevar excesivamente, no sólo

por el costo, sino por que un alto contenido de cemento puede traer problemas térmicos. La combinación de un límite alto del contenido de cemento, y un límite bajo del contenido de agua significa que sin un reductor de agua de alto alcance, la proporción a/c no puede reducirse a un valor por debajo de 0.4. Típicamente, el uso de 9 a 15 lts/m³ (1 a 3 gal/yda³) de reductor de agua de alto alcance (superplastificante) puede eficazmente reemplazar de 45 a 75 lts/m³ (9 a 15 gal/yda³) de agua.

Estudios realizados sobre la interacción entre el cemento y el reductor de agua de alto alcance, conducidos en la Universidad de Sherbrooke³⁹, han señalado los factores importantes para su compatibilidad.

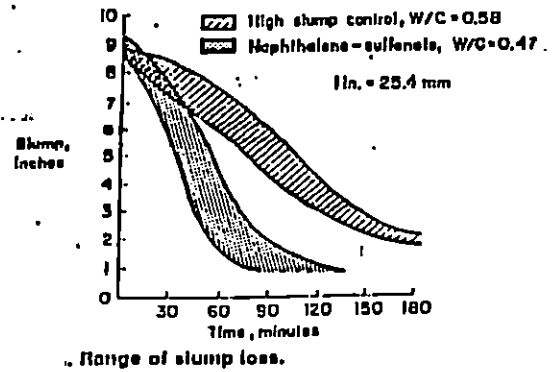
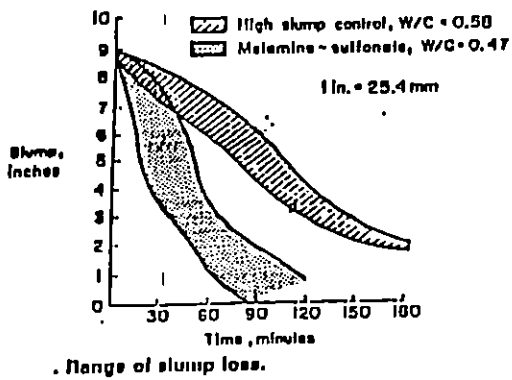
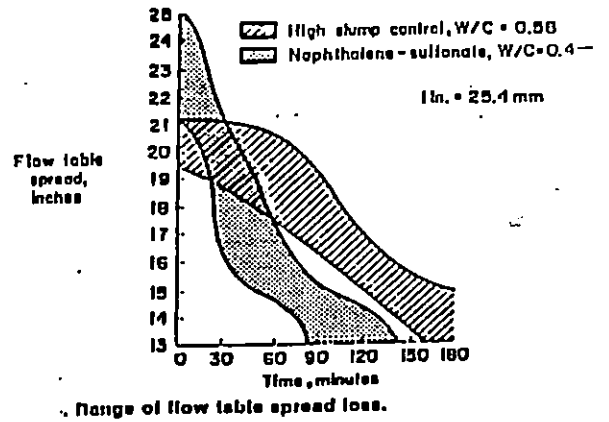
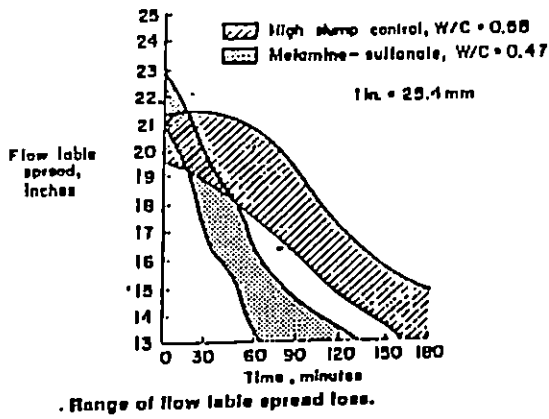
Para el cemento, son los contenidos del aluminato tricálcico (C₃A) y ferroaluminato tetracálcico (C₄AF), ya que cantidades de aluminato tricálcico por debajo del 8%, disminuyen la cantidad de **etringita** formada, este material al precipitarse incorpora un gran volumen de agua libre, reduciendo la consistencia en el concreto fresco. Uno de los efectos colaterales de los superplastificantes es la pérdida de consistencia aproximadamente a los 30 minutos de la adición, dependiendo del tipo de fluidificante y de cemento empleado (ver figura 3.3 y 3.4 de las páginas 97 y 98). Este efecto está asociado con la formación de sul-

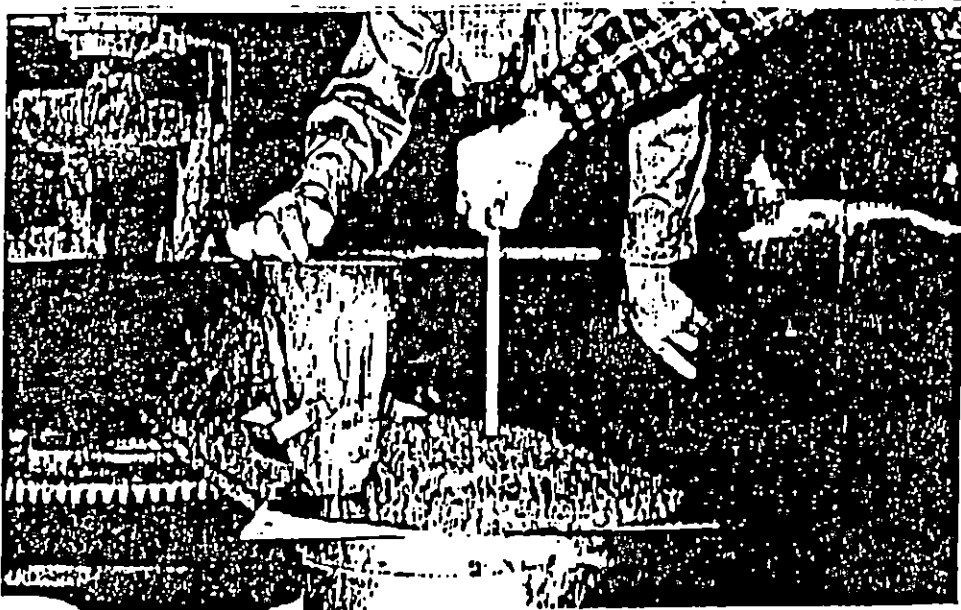
³⁹ Aitcin Pierre Claude and Neville Adam, "High-Performance Concrete Demystified", Revista Concrete International, Enero 1993. Pág. 23

foaluminato cálcico hidratado o etringita

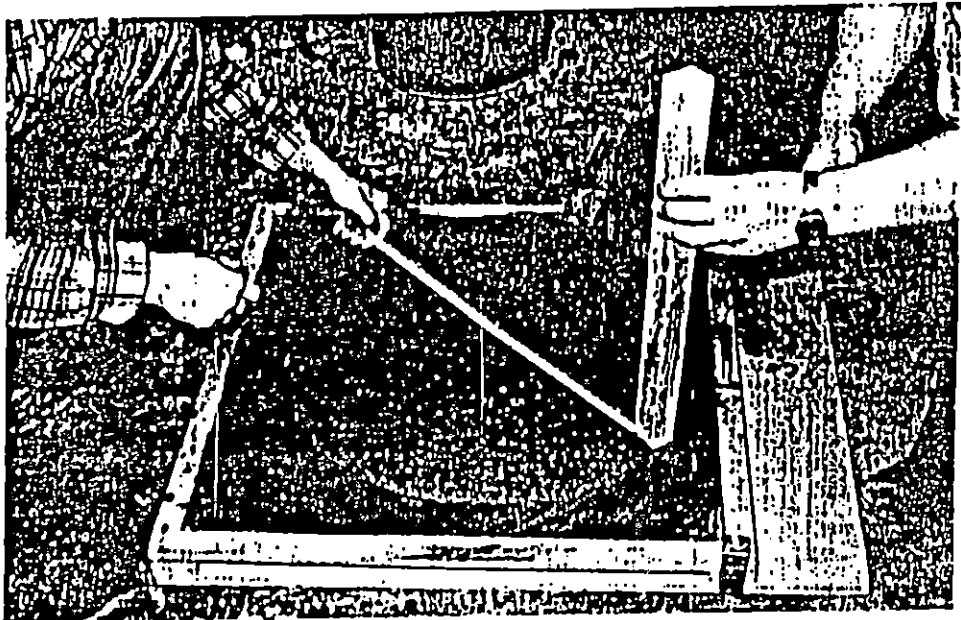
Otros factores que también intervienen en la incompatibilidad son la reactividad del C₃A (que depende de su formación morfológica y en el grado de sulfurización del clinker), el contenido de sulfato de calcio, y la forma final del sulfato de calcio en el cemento molido, específicamente el yeso hemihidratado o la anhidrita.

Los factores importantes para el reductor de agua de alto alcance son, el largo de la cadena molecular, la posición del grupo sulfonato en la cadena, el tipo del contador de ión y la presencia de sulfatos residuales, que afectan las propiedades de defloculación del cemento. Basados en estos factores, se puede postular un cemento ideal para el CGC desde el punto de vista reológico: no muy fino, con un contenido de C₃A muy bajo y con una fase intersticial cuya reactividad sea controlada fácilmente por los iones de sulfatos presentes en el cemento. El reductor de agua de alto alcance ideal, debería de consistir en cadenas moleculares más bien largas y con pocas ramificaciones laterales, como son los polímeros policondensados de melamina-formaldeido sulfonado o de naftaleno-formaldeido sulfonado. 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 una gran plasticidad, dando lugar también a una micro estructura muy densa con propiedades equivalentes o superiores a las de los





Slump test.



Flow table test.

agregados empleados en concreto. Virtualmente todas las normas para el cemento portland especifican ensayos de mortero con a/c de cerca de 0.5 y sin aditivos incluidos. En dichas mezclas, la cantidad relativamente alta de agua para mezclar presente, juega un papel dominante en determinar las propiedades reológicas del mortero al mantener las partículas del cemento separadas. Además la cantidad de agua de mezclado, relativamente alta, permite que un número más grande de iones penetre la solución antes que se alcance la saturación.

Por otro lado, cuando el reductor es usado y la relación a/c es 0.3 o menos, la distancia entre las partículas de cemento es menor y el número de iones que penetran la solución también es más pequeña. Bajo estas condiciones, las cinéticas de hidratación inicial de cemento son muy diferentes de otras que existen para una a/c de 0.5. Por consiguiente el obedecer las normas existentes para el cemento portland no es una garantía de que un determinado cemento sea adecuado para usarse en el CGC. Efectivamente, ensayos prescritos por las normas no dan indicación acerca de cual cemento es más adecuado para usarse en el CGC.

En un amplio sentido, la situación es la misma para los reductores de agua de alto alcance. Las normas que requieren del uso de un cemento de referencia estandarizado o un cemento mezclado, se establecieron cuando la acción del reductor de agua de alto alcance sobre el cemento no se comprendía muy bien. Por consiguiente, las normas estaban basadas en aquellas para reductores de agua,.

que también se habían diseñado usando una relación a/c de 0.5; Debido a esto se espera el desarrollo de nuevas normas aplicables en el CGC.

Para la selección del cemento y el superplastificante deben eliminarse los cementos y reductores de agua de alto alcance inadecuados, realizando ensayos de laboratorio a base de tanteos de un número de pastas de cemento que contengan combinaciones de diferentes cementos y reductores de agua de alto alcance, para establecer la mejor mezcla desde el punto de vista reológico. Ensayos como el del mini-revenimiento o la fluidez del mortero (ASTM C-124), hacen posible limitar la selección a unos pocos cementos compatibles con uno o dos reductores de agua de alto alcance disponible comercialmente. Para la selección final del cemento y el reductor de agua de alto alcance, 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.

El propósito de utilizar superplastificantes es reducir el contenido de agua y producir concretos altamente plásticos bombeables con fluidez y de fácil colocación. Los superplastificantes están presentes cuando se usan áreas de refuerzo congestionado donde no es práctico utilizar concreto convencionales bombeados; en secciones delgadas como cubierta de pisos moldeadas sin vibración; en concretos bombeados para reducir presiones en el bombeo, y para incrementar la capacidad de alturas y distancias en secciones de tuberías o

simplemente para reducir costos de trabajo y equipo en la colocación.

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

El efecto del superplastificante tiene una duración limitada, 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. 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 homogeneización dentro de la masa del concreto.

La dosificación de superplastificante en las aplicaciones de concreto

convencional no suele superar el 1% en peso de cemento. En el C.G.C, y dados los valores de relación agua/cemento que se quieren alcanzar, es normal superar este valor y utilizar cantidades entre el 2 y 3% en peso de cemento.

3.4.4 AGREGADOS.

No debe restarse importancia a la calidad del agregado en el concreto, ya que las propiedades del agregado influyen en las del concreto resultante: Las propiedades del agregado influyen en el módulo de elasticidad del concreto y en sus propiedades térmicas, que son cruciales principalmente en los casos donde el concreto sufre una extensa y repetida variación de la temperatura.

La granulometría es de suma importancia en la dosificación. La forma y textura superficial en la manejabilidad y la presencia de materiales perjudiciales, tienen influencia en la resistencia del concreto resultante.

Tampoco debe descuidarse la resistencia del agregado; aunque por sí misma tenga una función menos importante, pues es un factor que no limita la resistencia del concreto, como por ejemplo el hecho de que la resistencia del concreto liviano puede ser más alta que la resistencia del agregado que se use. Lo que controla la resistencia del concreto normal es la resistencia de la pasta de cemento hidratada; por eso es que la relación a/c es el factor de mayor importancia que controla la resistencia a la compresión en el concreto de resistencia normal. Esto puede

notarse en el hecho que la rotura se produce por la progresión de fisuras que rodean las partículas de grava, sobre todo con gravas de canto rodado.

Se ha observado en investigaciones realizadas que la situación es bastante diferente en el CGC⁴⁰, ya que 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 de la 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. Se observó en las fracturas de la superficie en el CGC que es habitual un porcentaje elevado de partículas del agregado grueso fracturado al producirse la rotura de la matriz del concreto. Efectivamente, en algunas circunstancias, la resistencia de las partículas del agregado es el factor limitante en la resistencia a la compresión del concreto.

En otras palabras, el CGC se comporta como un material suave compuesto con el esfuerzo compartido entre el agregado y la pasta de cemento hidratada. La participación del agregado en el proceso de soportar la carga puede discernirse por la forma de la curva de histéresis obtenida en los ensayos de laboratorio. La forma de la curva de histéresis está fuertemente influenciada por las propiedades de los agregados. Por lo dicho anteriormente, se deduce que las propiedades de

⁴⁰ Aitcin Pierr C. y Neville Adam, previamente citados.
Fernandez Cánovas M. y Alajeos Gutierrez P., previamente citados.

los agregados, especialmente su fracción gruesa, tienen una influencia considerable en las propiedades del CGC resultante. Aunque todavía no existe una posición para dar una guía basada en la teoría (que también es el caso con el concreto normal), se han desarrollado algunas pautas.

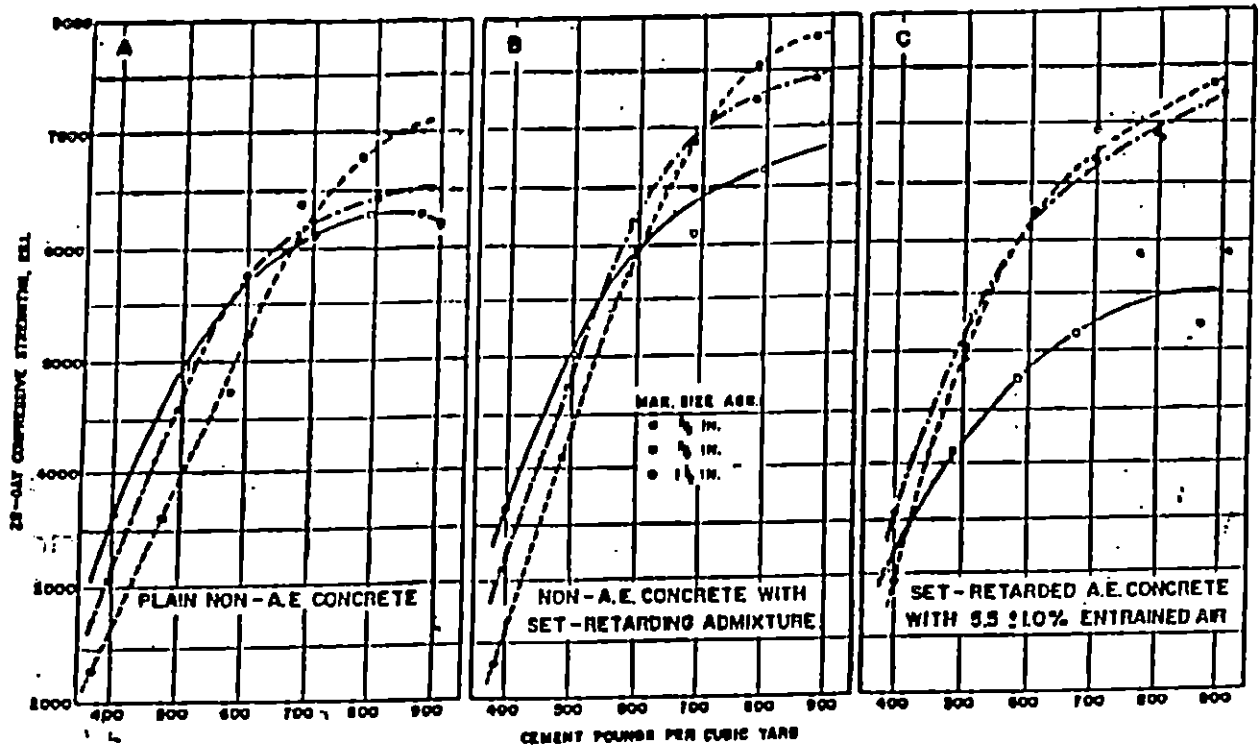
Una de éstas se refiere al tamaño máximo del agregado triturado (TMA). Porque el proceso de triturado se lleva a cabo preferencialmente a lo largo de cualquier zona potencialmente débil dentro de la roca madre, y por ende las remueve. Las partículas más pequeñas de la fracción del agregado grueso es más probable que serán más fuertes que las muy grandes. Además con un tamaño máximo pequeño, se consigue una superficie de contacto pasta-agregado mayor, que aumenta la superficie de adherencia.

Consecuentemente, para el CGC con una resistencia a la compresión de 600 a 1000 kg/cm² (8,700 a 14,500 psi), se puede usar TMA \geq 19 mm (3/4 pulgadas). Sin embargo, cuando una resistencia más allá de 1000 kg/cm² (14,500 psi) es necesaria, el TMA no debería exceder de 10 ó 12 mm (1/2 pulg.), a menos que los ensayos de laboratorio demuestren que una TMA más grande se puede usar.

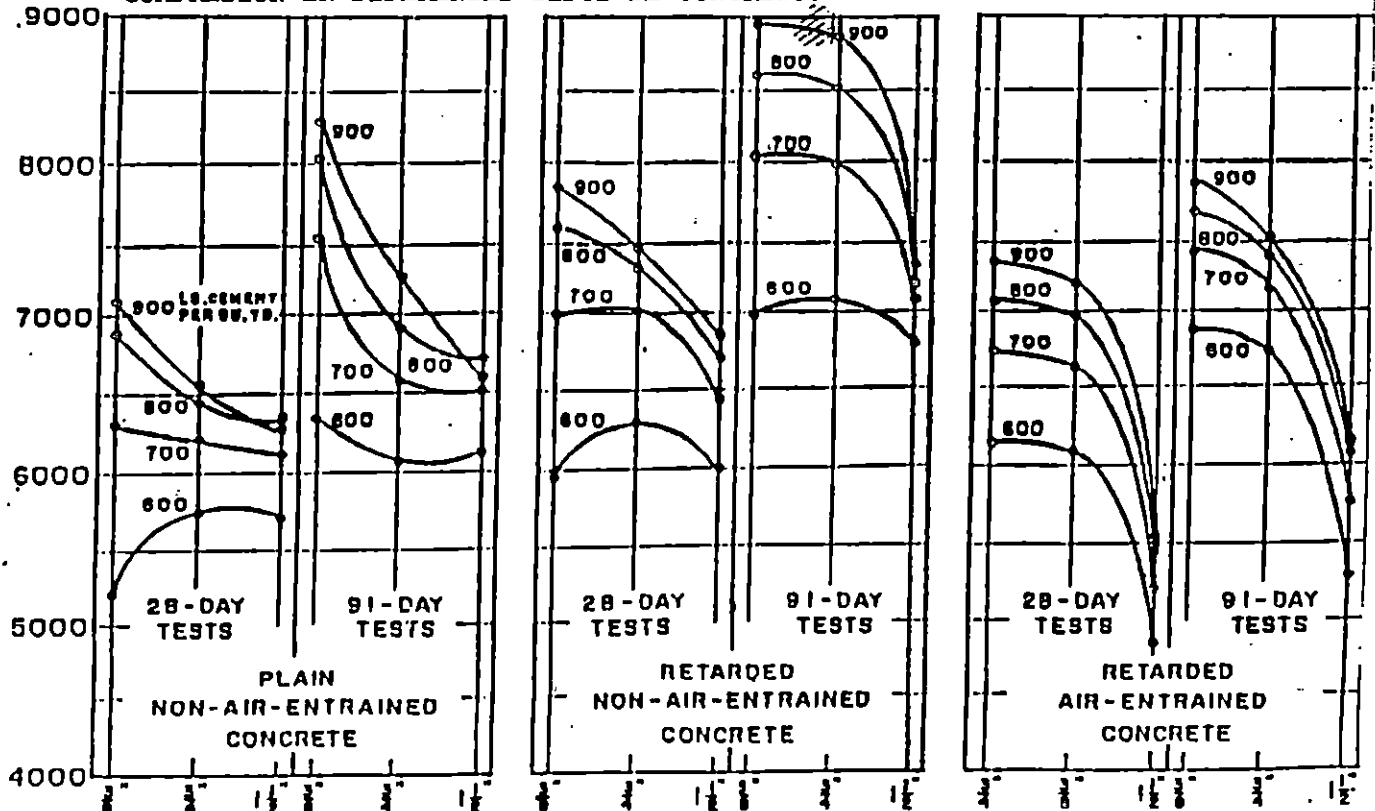
El efecto del tamaño del agregado grueso sobre la resistencia a la compresión y el consumo de cemento puede ser observado en las gráficas 3.5 de la página 105.

FIG. 3.5 *

EFFECTO DEL CEMENTO EN LA COMPRESION PARA VARIOS TAMAÑOS MAXIMOS DE AGREGADO GRUESO EN DIFERENTES TIPOS DE CONCRETO.



EFFECTOS DEL TAMAÑO DEL AGREGADO GRUESO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESION EN DIFERENTES TIPOS DE CONCRETO.



*MODERN CONCRETE ,BOLETIN INFORMATIVO DE LA P.C.A. , 1978.

Con respecto a la forma del agregado grueso, son excelentes las gravas glaciales y fluviales. Agregados triturados son también buenos, aunque tienen el inconveniente de una mayor demanda de agua (debido a la mayor superficie específica), comparadas con gravas rodadas. La ventaja es que la adherencia a la pasta es mejor que en los cantos rodados, por lo tanto se debe buscar que las partículas trituradas sean casi todas de forma cúbica, con un mínimo de partículas planas o alargadas, pues estas últimas tendrían un efecto adverso en la trabajabilidad.

Desde el punto de vista petrográfico, las rocas de grano fino como algunos tipos de piedra caliza, piedra dolomítica y granito son igualmente buenos; por supuesto que pueden haber otras rocas que produzcan agregado excelente para el CGC, pero tendría que ser comprobado por medio de ensayos. La arena se recomienda que sea rodada, ya que la arena de trituración exige una cantidad de agua mucho mayor para igual trabajabilidad y, limitar al máximo el contenido de agua en la mezcla es primordial en estos concretos. Por este motivo, y teniendo en cuenta que el contenido de finos en el CGC es elevado, por la alta dosificación de cemento que llevan y las adiciones minerales, es aconsejable que se trate de una arena no muy fina, y que su módulo de finura sea próximo a 3.⁴⁰

⁴⁰Fernández Cánovas, Manuel y Alajeos Gutierrez Pilar, "Composición y Dosificación de hormigones de alta resistencia". Revista Cemento y Hormigón No 709, agosto 1992 Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones Pág. 980

3.4.5. ADICIONES MINERALES

Las normas Suizas diferencian un aditivo de una adición, según estas definiciones:

Aditivo: Sustancia auxiliar que modifica ciertas características del concreto. Se añade en un rango del 0.1% hasta el 5% en peso del cemento; por lo cual no hay que considerarlas en el cálculo volumétrico de los materiales.

Adición: Igualmente como los aditivos, modifica ciertas características del concreto. Su dosificación es mayor del 5% en peso del cemento, y su volumen debe tenerse en cuenta en los cálculos de la mezcla. Las adiciones no deben tener efectos negativos sobre el endurecimiento o la durabilidad del concreto, ni sobre la protección anticorrosiva del acero embebido en éste.

Las adiciones en su mayor parte son minerales provenientes de subproductos industriales, considerados como residuos y su empleo en concretos presenta elevados beneficios por la economía, consumo de energía, protección ambiental y conservación de recursos naturales. Los materiales más empleados como adiciones en el CGC son: la microsíllica, y en menor escala, cenizas volantes y escorias de altos hornos.

3.4.5.1 MICROSILICA

Contrario a la opinión generalizada, el polvo de sílice o microsíllica, no es un material esencial en la mezcla del CGC, En algunos proyectos,

resistencias que alcanzan de 600 a 800 kg/cm² (8,700 a 11,600 psi) se obtuvieron sin el uso del polvo de sílice. Se han obtenido resistencias aun más altas, pero con poca frecuencia. No hay necesidad de evitar el uso de la microsíllica si está disponible y si es económica, pues su uso simplifica la producción del CGC y es más fácil alcanzar resistencias a la compresión que van de 600 a 900 kg/cm² (8,700 a 13,000 psi).^{*41}

Experimentalmente se han obtenido concretos con resistencias a compresión mayores a 2.100 kg/cm² (30.000 PSI). y en 1989 se inauguró en Seattle (U.S.A.) el primer rascacielos que usó concreto de 1330 kg/cm² (19000 PSI). Estos hechos, solo fueron posibles mediante el uso de la tecnología de la **microsíllica**. Aunque también se le conoce como Sílica Fume e inclusive, se dice que su mejor denominación sería Condensed Silica Fume; en adelante se denominará como "**microsíllica**", por ser el nombre que tanto comercial como bibliográficamente es más conocido. Esta nueva tecnología es el resultado de los continuos esfuerzos en procura de disminuir la emisión de residuos industriales a la atmósfera, ya que la legislación de algunos países europeos obligó a su recolección para proteger el medio ambiente. Con este objetivo, se desarrollaron en los países escandinavos unos sofisticados sistemas de filtración de gases provenientes de los hornos de fundición de metales silíceos, ferrosilíceos

⁴¹ Aitcin Pierre Claude and Neville Adam, "High-Performance Concrete Demystified", Revista Concrete International, Enero 1993. Pág. 23

y sus aleaciones, que permiten la recolección de gases que contienen un polvo de extremada finura, subproducto formado a partir de la reducción del cuarzo (SiO_2) por carbón en hornos de arco eléctrico.

Este polvo está formado por pequeñísimas esferas amorfas (no cristalinas) de diámetro promedio de 0.15 micrones (1 micrón = 1/1000 mm). El área superficial de 1 gramo de microsílca es de 20 a 25 m^2 aproximadamente mientras en el cemento es de 0.25 a 0.50 m^2/gramo . Para mejor ilustración de su gran finura basta mencionar que en una mezcla de concreto que use microsílca pueden existir entre 50.000 a 100.000 partículas de ésta última por cada grano de cemento.*⁴²

Aunque su densidad, comparada con el cemento ($94 \text{ lb}/\text{pie}^3 = 1508 \text{ kg}/\text{m}^3$), sigue siendo baja, recientemente se logró, mediante procesos de densificación, pasarla de 500 a 600 kg/m^3 ($15 \text{ lb}/\text{pie}^3$ a $31\text{-}37 \text{ lb}/\text{pie}^3$). No obstante, comercialmente puede conseguirse el producto en presentación de polvo o en forma de lechada (suspensión en agua con una concentración aproximada de microsílca 45% en peso). Por el especial cuidado que se hace necesario para manejar el producto en forma de lechada, las casas fabricantes han desarrollado sistemas para su

⁴²Prieto Méndez, Edgar O "Uso de la microsílca en el Concreto", Memorias técnicas tomo 4, tercera reunión del Concreto 1992, Asocreto Cartagena Colombia Septiembre 1992 pág. 22

almacenamiento, manejo, mezclado y dosificación cuyo costo solo se justifica para grandes concreteras o proyectos que requieran en su ejecución de altos volúmenes de microsíllica. en polvo con dosificación directa a la mezcla.

Su composición química puede variar dependiendo del horno de su procedencia pero generalmente contiene más del 90% de dióxido de silicio (SiO_2). La microsíllica puede clasificarse en dos tipos, de acuerdo a su contenido de dióxido de silicio (SiO_2), Según se muestra en el gráfico 3.6. de la página 113.

Este polvo, actualmente es materia prima de gran aplicación en las industrias del concreto, polímeros. refractarios y otros.

a) EFECTO DE LA MICROSILICA SOBRE EL CONCRETO FRESCO

El concreto con microsíllica es mucho más cohesivo y disminuye notoriamente el "sangrado", Por lo que requiere 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 cuidadosa operación de curado ya sea por continuo humedecimiento.

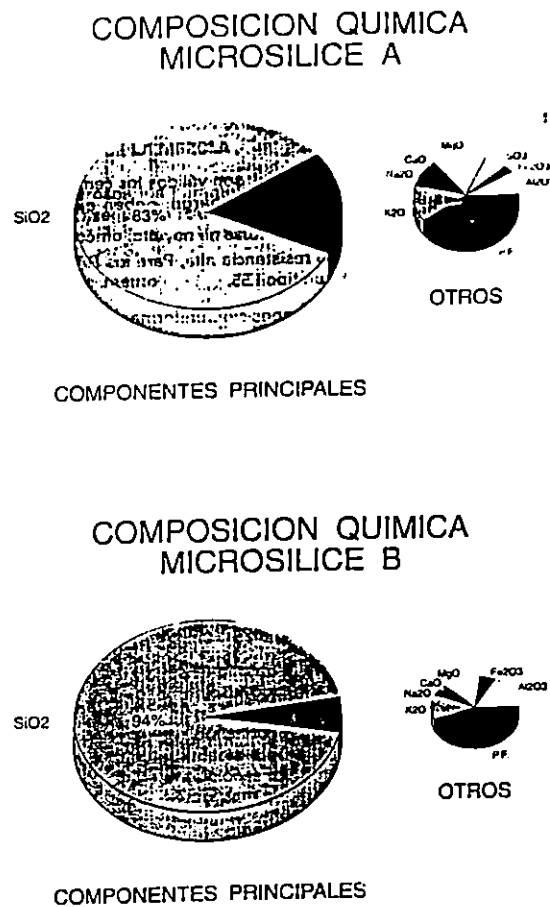


Fig. 3.6 Composición química de la microsíllica clase A y B.

Sin embargo, el hecho de disminuir y casi eliminar el "sangrado" es también un beneficio para el concreto por cuanto el agua que migra hacia la superficie, en un concreto convencional, arrastra pequeñas partículas de finos que facilitan la segregación.

Los ensayos habituales de medida de la consistencia como lo es el asentamiento (cono de revenimiento) no representan en forma conveniente la manejabilidad y plasticidad de un concreto adicionado con microsíllica. Es una característica típica de este tipo de concreto con la misma relación

agua/cemento; pero al introducirle energía dinámica por medio de un vibrador demuestra una mayor fluidez.

b) EFECTO DE LA MICROSILICA SOBRE EL CONCRETO ENDURECIDO

La mayoría de los investigadores están de acuerdo en que la microsíllica actúa en el cemento portland de dos formas :

b.1) alterando la reacción de hidrólisis.

b.2) como microrelleno del concreto (filler).

b.1) La adición de agua al cemento genera la hidrólisis del mismo formando dos compuestos. El primero es una gel de silicato de calcio que es realmente el aglutinante que "pega" los agregados formando el concreto. El otro compuesto es el hidróxido de calcio que puede llegar a ocupar hasta el 25% de la pasta de cemento. Este compuesto de calcio no sólo no presta ningún beneficio aglutinante sino que puede hacer el concreto más susceptible a ataques de sulfatos y álcalis.

La microsíllica, por su alto contenido de SiO_2 y la gran capacidad de reacción que le aporta su gran área superficial, reacciona con el hidróxido de calcio y el agua de la mezcla produciendo mayor cantidad de gel de silicato de calcio, disminuyendo el contenido del hidróxido de calcio. El

efecto neto resultante será un concreto con mayor cohesión, es decir, con un importante aumento en todas las resistencias, y un concreto de mayor durabilidad.

En este sentido, la microsílca es realmente una superpuzolana pues contiene mayor cantidad de SiO_2 que las cenizas volantes (Fly Ash), que solo tienen entre un 30 y 60% de SiO_2 , y un diámetro de partícula mucho menor que le permite reaccionar más completa y rápidamente con el hidróxido de calcio libre.

b.2) El segundo efecto de la microsílca sobre el concreto es el que se llamará "**microrelleno**". Aún cuando se paralice su reactividad al consumirse totalmente el hidróxido de calcio desprendido por las reacciones del cemento, la parte que queda inerte, debido a su extrema finura (entre 50.000 a 100.000 partículas de microsílca por cada grano de cemento) permite que la microsílca llene los espacios microscópicos que existen entre las partículas de cemento, especialmente de los poros de mayor tamaño, reduciendo notablemente la permeabilidad y mejorando, por consolidación la pega entre la pasta de cemento y el agregado.

Las dosis de microsílca normalmente empleadas en los CGC oscilan entre el 5 y el 10% del peso de cemento, consiguiendo incrementos de

resistencia que no suelen superar el 30% respecto a las mismas mezclas sin microsílíce. Sin embargo, se pueden alcanzar mayores resistencias con dosis del 15 al 20%. Para un nivel de resistencia determinado, conviene utilizar el mínimo contenido de microsílíce posible, ya que se trata de un producto que encarece notablemente el precio del concreto. Sin embargo si se desea conseguir resistencias cercanas o superiores a los 1000 Kg/cm² es obligatorio utilizar microsílíce en la dosificación.^{*43}.

c) MEJORA EN LAS CARACTERISTICAS DEL CONCRETO POR EL USO DE MICROSILICA.

Todas las principales características del concreto se ven notoriamente mejoradas con el uso de la microsílíce. Pero se analizará de forma especial su efecto positivo sobre la resistencia a compresión, la permeabilidad y la durabilidad.

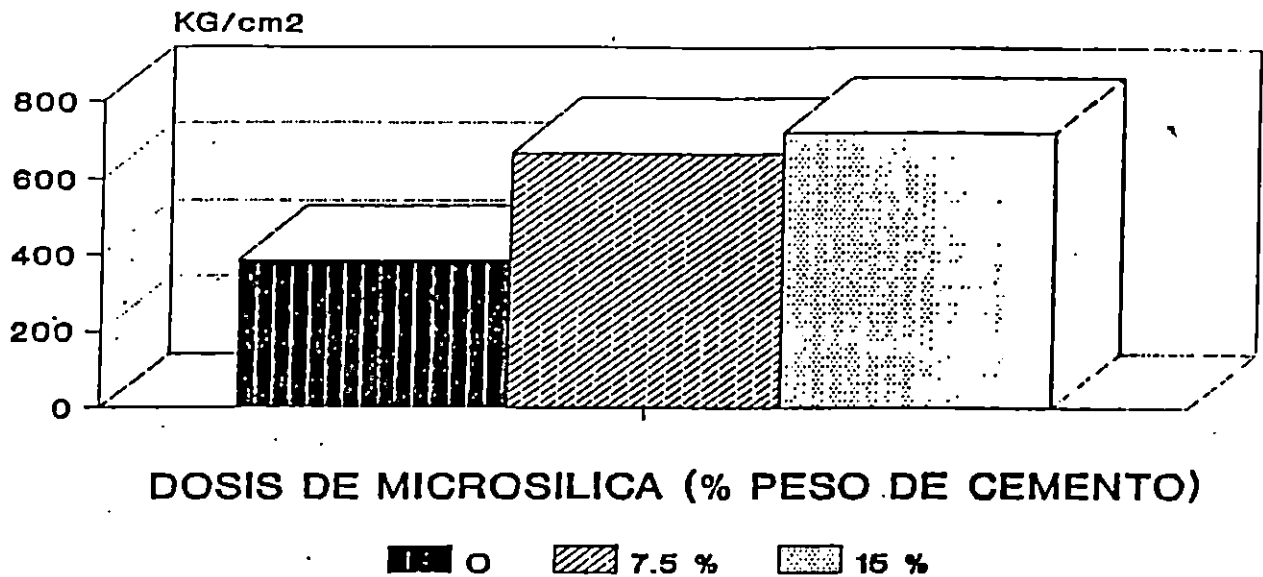
c.1) RESISTENCIAS A LA COMPRESION Y TENSION

Aunque en el laboratorio se ha llegado a obtener concretos de más de 2,100 kg/cm² (30.000 PSI) a compresión, esto no sería posible en una planta de concreto normal. Sin embargo, en una concretera promedio, la

⁴³ Prieto Méndez, Edgar O "Uso de la microsílíce en el Concreto", Memorias técnicas tomo 4, tercera reunión del Concreto 1992, Asocreto Cartagena Colombia Septiembre 1992. pág.25-26

adición de microsilica representará notables incrementos de resistencias a compresión y flexión.

RESISTENCIA A COMPRESION A 28 DIAS



(Concreto de 250 Kg. cemento portland
tipo 1/m³ A/C-0.45)

Fig. 3.7 Efecto de la microsilica en la resistencia del concreto

En la fig. 3.7 ⁴⁴ se puede apreciar como una mezcla que normalmente seria de 385 kg/cm² (5.500 PSI) a 28 días, pasa a 665 kg/cm² (9.500 PSI), a la misma edad, con la adición de microsilica en una dosis de 7.5% del peso de cemento, manteniendo la misma relación agua/cemento y con

⁴⁴ Prieto Méndez, Edgar O "Uso de la microsilica en el Concreto", Memorias técnicas tomo 4, tercera reunión del Concreto 1992, Asocreto Cartagena Colombia Septiembre 1992. pág.27

adición de reductores de agua de alto rango (superplastificantes). La misma mezcla, con una adición de microsílca del 15% del peso del cemento dará, a 28 días, 720 kg/cm² (10.300 PSI). Con esta nueva tecnología, los productores de concreto podrían ofrecer al mercado resistencias a compresión y flexión que antes no sería posible⁴⁵. Llegar a 700 KG/cm² (10.000 PSI) y más será relativamente sencillo y se estima, en los países desarrollados, que en futuro cercano lo normal será trabajar con concretos de resistencia a compresión cercana a 1.400 kg/cm² (20.000 PSI).

Es importante notar que para lograr las resistencias aquí mencionadas se hacen indispensables algunos ajustes en los diseños de la mezcla. La gran finura de la microsílca conlleva un área superficial muy superior a la del cemento y los otros componentes de la mezcla. Esto implica también una gran capacidad de absorción de agua y por tanto una importante pérdida de manejabilidad en el concreto fresco que de ninguna manera puede ser compensada con mayor adición de agua por cuanto esto implicaría la pérdida de los beneficios esperados con la tecnología de la microsílca.

⁴⁵ Prieto Méndez, Edgar O "Uso de la microsílca en el Concreto", Memorias técnicas tomo 4, tercera reunión del Concreto 1992, Asocreto Cartagena Colombia Septiembre 1992 pág. 26-29

Por lo anterior se hace absolutamente necesaria la combinación de la microsílca con el uso de aditivos reductores de agua (plastificantes) o reductores de agua de alto rango (superplastificantes) que compensen la pérdida de la manejabilidad de la mezcla.

Excepto por la reducción de agua ya mencionada mediante el uso de aditivos, emplear la microsílca no requiere de mayores cambios en el concepto del diseño de la mezcla. En muchas aplicaciones puede iniciarse del diseño convencional y, con algunos sencillos cálculos, obtenerse el nuevo diseño que incorpore toda la tecnología de la microsílca. De pruebas en laboratorio^{*46} y análisis se pudo determinar:

- Cuando se usa la microsílca para aumentar resistencias, no se disminuye la cantidad de cemento. Por el contrario la microsílca incorporada es considerada como un nuevo cementante.

- El diseño de la mezcla se replantea disminuyendo la cantidad de agua por efecto del aditivo incorporado, que debe ser el suficiente para mantener la manejabilidad especificada en el diseño original sin microsílca. Normalmente, al recalcular el diseño, resulta un

⁴⁶ Prieto Méndez, Edgar O "Uso de la microsílca en el Concreto", Memorias técnicas tomo 4, tercera reunión del Concreto 1992, Asocreto Cartagena Colombia Septiembre 1992 pág.26-29

ajuste pequeño de agregados finos.

- La adición de microsíllica a la mezcla representa una pequeña incorporación de aire pero no en cantidades que resulten importantes .

- El tiempo de fraguado inicial y final, son alterados más por efectos de los aditivos reductores de agua que por la adición de la microsíllica.

- La resistencia a compresión aumenta con la cantidad de microsíllica adicionada a la mezcla original. La dosificación normalmente recomendada por los fabricantes es de 5% al 15% del peso del cemento. Esta dosis es expresada en cantidades netas de microsíllica, es decir descontando el agua incorporada por el producto cuando este viene en suspensión. Igualmente vale la pena aclarar que esa cantidad de agua que viene en la suspensión debe ser considerada para la medición total de agua en el diseño final.

c.2) PERMEABILIDAD

Por el doble efecto de mayor "Producción" de silicato de calcio en la reacción de hidrólisis, y el microrelleno del concreto, es

obvio que esta característica se vea drásticamente mejorada con el uso de microsíllica.

Esto se puede confirmar mediante la norma AASHTO T 277 que es el método más rápido de medición de esta propiedad que mide la permeabilidad del concreto a cloruros.

PERMEABILIDAD DEL CONCRETO CON O SIN MICROSILICA

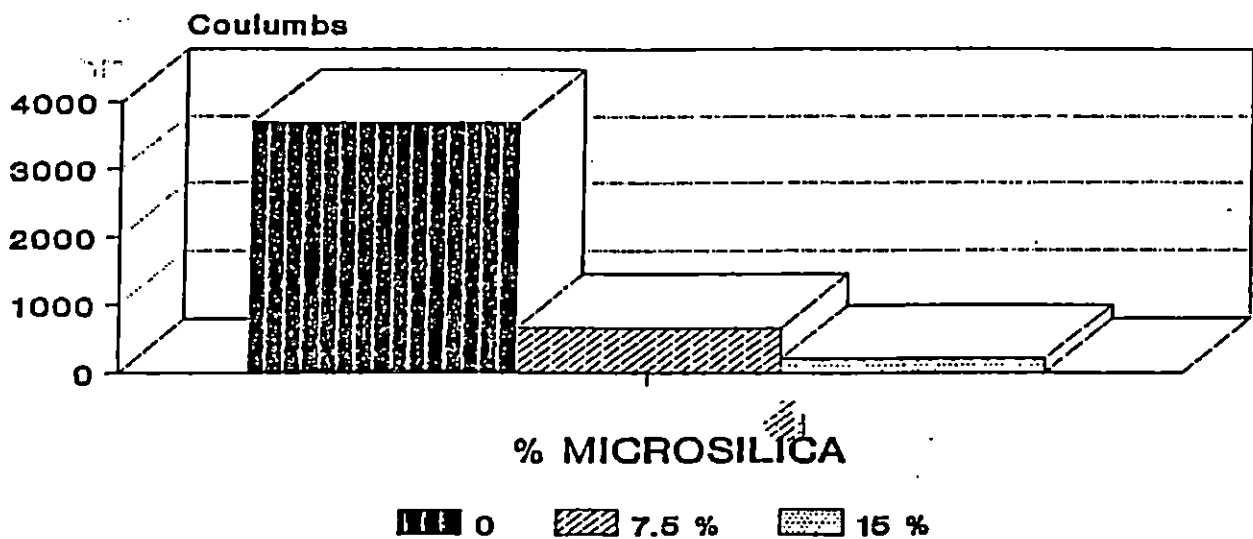


FIG 3.8 Efecto de la MS en la permeabilidad del concreto

En la figura 3.8 se puede observar que en un concreto convencional esta medición será de 3500 a 4500 coulombs; en el mismo concreto pero con adición de microsíllica de 7.5% del peso

de cemento, la misma prueba dará entre 250 y 1000 coulombs (Entre más bajo sea este índice, menos permeable será el concreto).

c.3) DURABILIDAD.

Por la mayor impermeabilidad, el concreto con microsílca permitirá hacer concretos más resistentes a los ataques químicos en zonas marinas y en general en ambientes corrosivos. Ensayos de laboratorio muestran que el concreto con microsílca presenta mejores comportamientos al ataque de ácidos tales como clorhídrico, acético, láctico y sulfúrico, comparado a los concretos convencionales de baja relación agua/cemento o concretos modificados con acrílicos.

c.4) RETRACCIÓN:

Múltiples ensayos demostraron que la retracción (contracción) causada por la microsílca es comparable con la del cemento portland; es decir concretos con microsílca tienen aproximadamente la misma retracción si parten de la misma relación agua/cementantes.

c.5) CALOR DE HIDRATACIÓN:

La microsíllica (MS) tiene una reacción puzolánica mucho más rápida que la ceniza volante, pero hidrata más lento que el cemento portland. Aún así la mayor parte de la hidratación de la MS ha terminado a los 28 días y no está acompañada de una generación significativa de calor.

c.6) MÓDULO DE ELASTICIDAD:

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 calculista, para evitar roturas frágiles en elementos a flexión, diseñando la armadura en tal forma, que las vigas, placas, etc., reciban un nivel normal de ductilidad.

Más difícil es el caso de la reparación parcial de una sección. En este caso se combina la microsíllica con otros materiales que aumentan la flexibilidad del concreto, sin entregar las otras ventajas de esta tecnología.

Otras propiedades del concreto tales como abrasión, porosidad y resistencia a ciclos de hielo-deshielo se ven también notablemente

mejoradas con el uso de la microsíllica.

d) MANEJO DEL CONCRETO CON MICROSILICA

La mezcla de la microsíllica en la producción del concreto tiene algunas consideraciones de especial cuidado. Algunos productores de concreto han encontrado preferible alimentar la microsíllica antes que los otros componentes de la mezcla; otros por el contrario, encuentran más favorable adicionarla después. Independiente de la secuencia que se prefiera para la mezcla, se sugiere que el mezclado del concreto se realice con un mínimo de 100 revoluciones a una velocidad de 15 rpm⁴⁷. Si en el momento de vaciar el concreto de la mezcladora es notoria una 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 que tales hechos no vuelvan a ocurrir. Es de esperarse una mayor exigencia en el mezclado para la microsíllica en polvo que en solución.

Por la mayor cohesividad del concreto con microsíllica, es necesario un mayor cuidado en la limpieza de las mezcladoras y herramientas utilizadas en la colocación del CGC, que cuando se

⁴⁷ Prieto Mendez, Edgar O. anteriormente citado

trabaja con concreto convencional.

Por lo anterior algunos fabricantes de microsíllica sugieren trabajar con un asentamiento un poco mayor que la mezcla de la referencia. Dicho asentamiento debe lograrse con aditivos y no con mayor cantidad de agua.

Comparando un concreto convencional con otro de igual resistencia a la compresión pero que incluya microsíllica en su diseño, éste último generará menos calor de hidratación. Esto facilita su manejo en concretos masivos pero indica un mayor cuidado cuando el concreto va a ser colocado en temperaturas críticamente frías.

La cohesividad, adherencia, y plasticidad que la microsíllica aporta al concreto la hacen un material ideal para utilizarlo en concreto lanzado porque permite reducir de manera importante el rebote y por tanto el desperdicio de material; igualmente puede aplicarse más espesor de concreto lanzado por pasada o capa con todos los beneficios de costos y tiempo que ello significa.

La incorporación de la microsíllica, en obra o en concreteira, no

requiere de equipos o tecnología distinta a las ya conocidas para concretos convencionales. No obstante, para su presentación en polvo, se deben prever algunos cuidados de salud ambiental por la extrema finura del producto.

e) CURADO DEL CONCRETO CON MS.

Sin un adecuado curado el concreto que contiene MS está muy propicio a la retracción plástica. Se trata del fenómeno de fisuración por retracción que sufre el concreto antes de fraguar, estando aún en estado plástico. Este efecto se debe básicamente a la misma finura de la MS que impide una pérdida de agua libre en la mezcla por sangrado. Es así que se presentan las fisuras 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 de retracción plástica suelen ser largas y anchas y se pueden detectar a simple vista. Normalmente se presentan pocas horas después de la colocación del concreto por lo que se recomienda un curado adecuado 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 con agua

sea el más apropiado, ya que así ayuda a completar, hasta cierto punto, la hidratación del material cementante. Se debe mantener el curado al menos 5 días; en casos extremos (alta temperatura, sol directo, viento fuerte) hay que extenderlo a ocho días como mínimo.

f) CONSIDERACIONES EN EL USO DE LA MICROSILICA.

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

Aunque no se tiene experiencia en el mercado local, las consideraciones económicas son bien importantes por que las altas resistencias obtenidas permitirán columnas y vigas más delgadas, luces mayores entre elementos, menor requerimiento de acero de refuerzos y otros importantes ahorros que perfectamente conjugados en un buen diseño, deben resultar en menores costos totales pese a que en si mismo el concreto sea más costoso.

añadir microsíllica al concreto mejorará sus características, pero aquí como en todos los aditivos, es absolutamente válido que estos

últimos son una valiosa herramienta para optimizar concreto pero no corregirán un mal diseño de mezcla o unos malos materiales.

3.4.5.2 Cenizas Volantes.

Las cenizas volantes se obtienen como un subproducto en el proceso de combustión del carbón de las centrales térmicas, al filtrarse electrostáticamente los gases procedentes de la combustión. Tienen un tamaño superior al de la microsíllica, y su composición química es muy variable según se trate de la materia prima utilizada en la combustión, siendo menos ricas en sílice reactiva.

Las cenizas volantes se utilizan en el concreto por su acción puzolánica, aunque ésta resulta ser mucho menos activa y más tardía que la producida por la microsíllica, debido al mayor tamaño de las partículas y a una composición más pobre en sílice que la microsíllica. Las cenizas a emplear deben ser de calidad y de probada uniformidad en la fuente de origen. Este es el punto fundamental, ya que existe una gama muy variada de cenizas volantes. Cada central produce unas cenizas con unas características determinadas, que incluso pueden variar considerablemente de unas partidas a otras. No todas las cenizas son aplicables ni siquiera dentro del concreto convencional, por lo que su utilización para conseguir CGC, aunque posible, exige conocer muy bien las características y

uniformidad de la fuente de cenizas elegida. Como referencia se puede señalar que, de la clasificación ASTM, han sido empleadas las clases C y F para producir CGC.

La adición de cenizas puede no producir un aumento de la resistencia a edades tempranas, aunque se experimenta un aumento con respecto a los concretos de control, es decir, sin cenizas, más allá de los 7 días.

Las dosis de cenizas volantes habitualmente empleadas para producir CGC suelen ser superiores a las que se emplean con la microsíllica. Son normales valores que van del 15 al 25% en peso de cemento. En total, la cantidad de material cementoso (cemento más adición mineral) empleado en las mezclas con cenizas es bastante superior al utilizado en la microsíllica.

3.5 PROPIEDADES REOLOGICAS DEL CGC FRESCO

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. En el pasado algunos usuarios del concreto⁴⁸ han tenido experiencias de reductores de agua de alto alcance que han dado

⁴⁸ Aitcin Pierre C., Neville A., citados anteriormente
Fernandez Cánovas M., Alajeos Gutierrez P., citados
anteriormente.

una manejabilidad muy alta con un contenido de agua muy bajo en la mezcla, pero sólo para un corto período de tiempo; Efectivamente, alcanzar propiedades reológicas satisfactorias por un período suficientemente largo representan la dificultad más grande al producir el CGC.

Las investigaciones han demostrado que no siempre es posible producir CGC que sea manejable una hora²¹ después de mezclado, usando 135 lts/m³ (27 gls/yda³) de agua, simplemente escogiendo al azar una combinación de cemento portland y un reductor de agua de alto alcance. La razón de esto es la interacción entre el cemento y el reductor de agua de alto alcance, que es bastante complicado y que puede llevar a una pérdida rápida de revenimiento. Efectivamente, al seleccionar los materiales para el 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 revenimiento es esencialmente la compatibilidad entre el cemento y el reductor de agua de alto alcance.

3.6 COLOCACION Y MANEJO DEL CGC.

Se ha determinado en investigaciones anteriores⁴⁹ que aparte de las consideraciones en cuanto a la dosificación de la mezcla, en la fabricación de concretos de gran

⁴⁹ Gebles S.H., "The effects of high-range water reducer on the properties of freshly mixed and hardened flowing concrete" (RD081.01T). Portland Cement Association, 1982. Pág.5-7

comportamiento se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

Al poseer las mezclas poca agua pueden existir problemas en su homogeneización, en especial para conseguir que el superplastificante se distribuya por igual en la pasta. Por tanto es deseable un amasado enérgico y a alta velocidad, aunque resulta conveniente realizar ensayos previos de tiempo y velocidad de amasado.

El control en obra debe ser muy estrecho; se recomienda tener en cuenta las siguientes consideraciones:

-) Debe exigirse uniformidad a todos los elementos de la mezcla y controlarse perfectamente su dosificación, especialmente la del agua.

-) El curado del CGC debe hacerse mediante métodos que aporten agua al concreto. Está desaconsejado el uso de compuestos de curado. El período de curado mínimo debe ser de ocho días.

Cualquier método de dosificación puede emplearse para proyectar estos concretos siempre que cumpla con los objetivos de proporcionar mezclas trabajables, resistencias mecánicas y durabilidad compatibles con las condiciones del proyecto. El método debe permitir el uso de la mayor cantidad 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.

Dado que este tipo de concretos llevan incorporados generalmente adiciones muy activas, y que en todos los métodos de diseño se emplean parámetros empíricos y dependen en gran parte de datos experimentales, la experiencia de laboratorio es fundamental para ajustar las dosificaciones a los fines del proyecto.

CAPITULO IV PRUEBAS DE LABORATORIO.

GENERALIDADES.

Es de hacer notar que actualmente en El Salvador aún no existen normas nacionales, el estado no posee un marco legal en el cual se establezcan características y una calidad mínima que los materiales constructivos deben cumplir para poder utilizarse como materia prima en los concretos. Por esta razón en la mayoría de los documentos contractuales y las especificaciones de proyectos de ingeniería del país, se hace referencia a las normas ASTM (American Society for Testing and Materials), las ACI (American Concrete Institute), las AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials).

Es por esta razón que las pruebas de laboratorio descritas en este capítulo se encuentran referenciadas a las normas ASTM las cuales fueron realizadas tanto a los materiales que componen el Concreto de Gran Comportamiento como al concreto mismo, tanto en su estado fresco como endurecido. Las pruebas a los materiales^{*50} comprenden: Resistencia a la abrasión (ASTM C-131) e impurezas orgánicas (ASTM C-40), estas pruebas establecen la calidad de los agregados, además de estas pruebas, se realizaron los ensayos que sirven para formar las bases de dosificación de las mezclas de concreto las cuales son las siguientes: análisis granulométrico de los agregados (ASTM C-136), módulo de finura de la arena (ASTM C-33 y C-126), peso específico y absorción (ASTM C-127 y C-128), contenido de humedad y humedad superficial (ASTM C-566 y C-70)

⁵⁰ Ver capítulo II de este documento pág. 37-56 y capítulo III pág. 90-112.

y peso unitario (ASTM C-29).

Las pruebas realizadas a los aditivos y adiciones⁵¹ fueron: determinación de la cantidad de sólidos (% de sólidos en la solución) y gravedad específica respectivamente, la primera sirve para corregir la cantidad de agua libre en la mezcla y la segunda para la dosificación de la mezcla.

Para establecer la calidad buscada en el concreto se evaluaron las propiedades básicas: manejabilidad, resistencia mecánica y durabilidad. La manejabilidad fue medida con el ensayo de revenimiento (ASTM C-143), la resistencia mecánica: la resistencia a la compresión se evaluó mediante el método de ensayo y fabricación (ASTM C-39 y C-192), la resistencia a la tensión indirecta se realizó por medio de la prueba brasileña (ASTM C-496), la durabilidad se midió mediante la exposición de especímenes al ataque químico de ácido sulfúrico.

Para una mejor comprensión de la información, esta ha sido ordenada en dos áreas:

Pruebas a los componentes.

Pruebas al concreto (en estado fresco y endurecido).

4 PRUEBAS DE LABORATORIO.

Las características y propiedades de los componentes del concreto, como del concreto

⁵¹ Capítulo III pág. 107 de este documento.

mismo son evaluadas por medio de ensayos normados con la finalidad de realizar un diseño de mezcla que pueda tener características específicas, como pueden ser: alta resistencia mecánica (compresión, tensión, etc.), baja permeabilidad, alta densidad, etc.

Este trabajo fue realizado con el objetivo de investigar un concreto con alta resistencia a la agresión provocada por el medio ambiente y en vista de que no existen métodos de prueba que evalúen esta condición a corto plazo se limitaron las pruebas a ensayos básicos tanto en la calidad de los componentes como a las pruebas que establecen las bases de la dosificación de las mezclas, así como las pruebas que evalúan las propiedades que inciden en la calidad del concreto: manejabilidad, resistencia mecánica (compresión y tensión) y durabilidad.

Los materiales se escogieron tomando en cuenta principalmente la disponibilidad y acceso de estos en el mercado nacional. Además se evaluaron los antecedentes de los materiales escogidos de estudios anteriores, pruebas de instituciones dedicadas a la investigación ⁵², tesis de graduación ⁵³ en el área de concretos y la información proporcionada por el fabricante en la hoja técnica de los materiales como es el caso de la microsílica y el superplastificante. Estas pruebas fueron realizadas a un total de ocho

⁵² PCA, IMCYC, ACI, ASOCRETO.

⁵³ Melendez A. Yanira, y otros "Análisis y Diseño por el Método ACI de Concreto Hidráulico para Diferentes Resistencias". Tesis de graduación, Universidad Tecnológica, Sept. 1990 pág. 12-69.
Lizama A. Roxana, y otros, "Calidad Pétreo de las Canteras que Abastecen el Area Metropolitana de San Salvador", tesis de graduación, Universidad Tecnológica, Sept. 1990, pág. 55-95.

diseños de mezcla de las cuales se elaboraron 213 cilindros de 150 x 300 mm. según norma (ASTM C-192) y 48 cilindros de 100 x 200 mm. De estas ocho mezclas se elaboró una a la que se le llamó mezcla de control (mezcla A), la cual no contiene ningún tipo de aditivo, ni adición.

Es de hacer notar que las mezclas fueron elaboradas con una relación $a/c+p$ menor a 0.4 debido a que este parámetro es función inversa a la resistencia mecánica⁵⁴

4.1 PRUEBAS A LOS COMPONENTES

En este apartado se detallan los resultados de las pruebas realizadas a los distintos componentes del concreto, así como la presentación de dichos resultados en forma de tablas o gráficos.

4.1.1 CEMENTO.

El cemento utilizado es marca **CESSA** y corresponde al tipo I PM (ASTM C-595/88). Se utilizó este tipo de cemento debido a que es el único que se fabrica de forma rutinaria en el país.

A este componente no se le efectuó ningún tipo de prueba química o física, sin

⁵⁴ Ver Capítulo III de este documento, pág. 95

embargo, se anexa la tabla 4.1⁵⁵ con los valores de los requerimientos físicos que debe cumplir el cemento Portland tipo I PM según la norma ASTM C- 595-86⁵⁵.

Tabla 4.1 Requerimientos físicos del cemento Portland tipo I PM

Tipo de Cemento		I (PM)
Finura		*a
% máx. de expansión en autoclave		0.50
% máx. de contracción en autoclave		0.20
tiempo de asentamiento en la prueba de Vicat;*b		
Inicial, no menor de (min.)		45
Final, no mayor de (horas)		7
Contenido de aire en mortero (método C volumen	185), en % del	12% máx.
Resistencia mínima a la compresión, Kg/cm ²	(Mpa)	
a 3 días		124
a 7 días		(12.4)
a 28 días		193
		(19.3)
		241
		(24.1)
Calor máximo de hidratación (cal/gr)		
a 7 días		70
a 28 días		80
% máx. de expansión de mortero		
a 14 días		0.020
a 8 semanas		0.060

*a El valor del peso retenido por la malla n° 325 con el método de lavado, y

⁵⁵ "Designation: C 595 - 86. Standard Specification for Blended Hydraulic Cements" Annual Book of ASTM Standards, vol 04.02, Chicago, Agosto 1986. Pág. 289-293

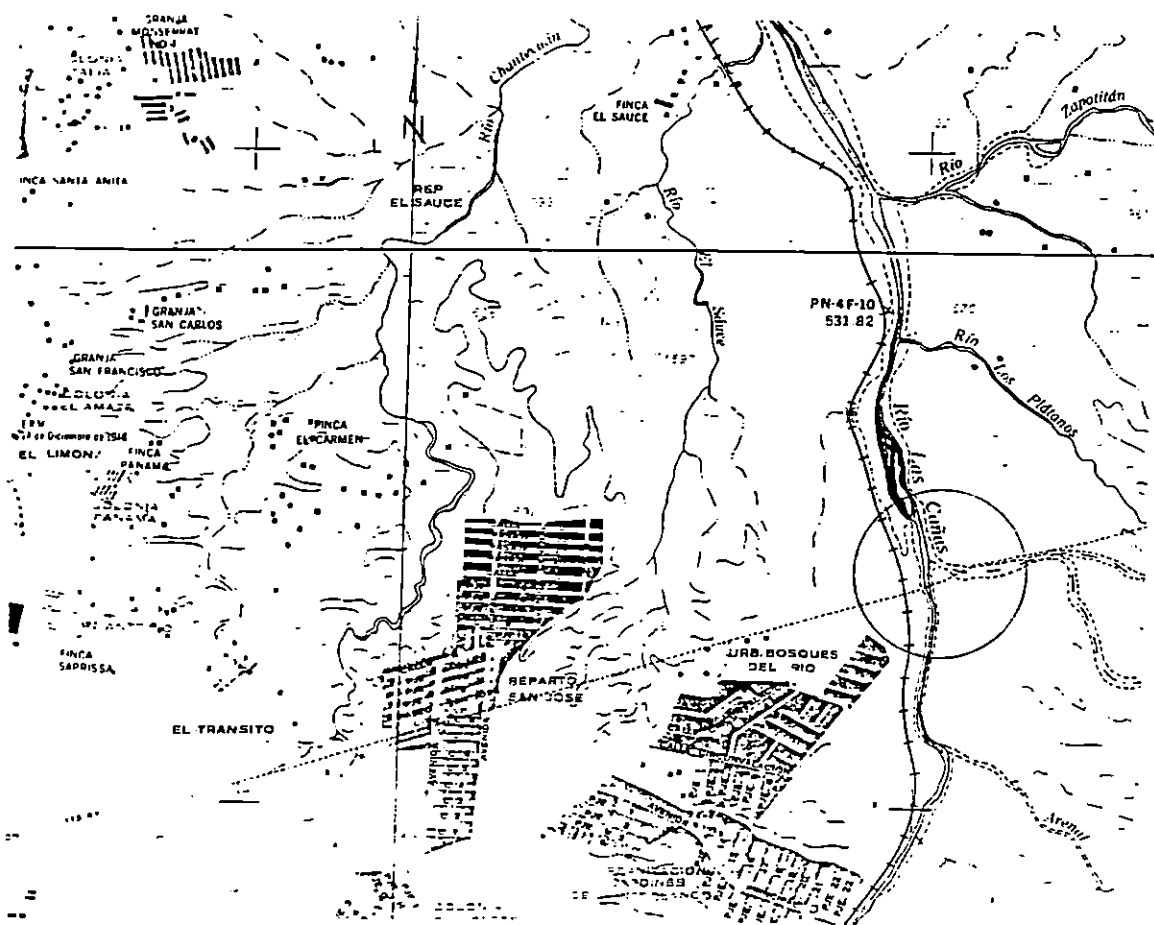
el área específica utilizando el aparato de permeabilidad de aire deberá ser reportado en cm^2/gr ; y certificado que este control se realizó durante la producción o la transferencia del lote de cemento producido.

^b El espécimen deberá permanecer firme y duro y no mostrar signos de distorsión, ruptura, agujeros, marcas o desintegración cuando es sujeto a la prueba de expansión en el autoclave.

4.1.2 AGREGADO FINO.

El agregado fino utilizado para el diseño de mezcla proviene de dos bancos:

Uno es el ubicado en el río Las Cañas y el otro en el río Jiboa (ver planos de ubicación en fig. 4.1 y 4.2 pág. 136, 137).



El material del banco utilizado en la primer serie de mezclas de la A a la E fue tomado del río las Cañas, y el muestreo se realizó al inicio de la época lluviosa (Mayo). Se analizó este banco, por ser uno de los más utilizados en el suministro de agregado fino (arena) que se utiliza en la industria de la construcción para el área metropolitana de San Salvador (AMSS). Este agregado fino posee un alto contenido de partículas de peso ligero (piedra pómez) y fue utilizado en las mezclas denominadas A, B, C, D y E.

Después de obtener los primeros resultados de ensayos a compresión en las probetas de concreto con el agregado fino procedente del río Las Cañas, se escogió un segundo banco de arena, ubicado en el río Jiboa, en el área donde se encuentra ubicado el plantel de la empresa "Gravas del Pacífico". Es un agregado con muy bajo contenido de partículas de peso ligero, y los granos que la forman en su mayoría provienen de la degradación de rocas basálticas; Con este agregado fino, se realizaron las mezclas de prueba denominadas F, G, y H.

En la selección del agregado para las pruebas de laboratorio se utilizó el procedimiento del muestreo al azar, seguido de un cuarteo para reducir la muestra a los tamaños mínimos especificados en las normas para cada prueba. Las pruebas realizadas fueron: análisis granulométrico (ASTM C-136), los requisitos de calidad: límites granulométricos (ASTM C-33), impurezas orgánicas (ASTM C-40), módulo de finura de la arena (ASTM C-125), Peso específico y absorción

(ASTM C-128), contenido de humedad y humedad superficial (ASTM C-70 y C-566), peso unitario (ASTM C-29),

4.1.2.1 IMPUREZAS ORGANICAS EN ARENAS PARA CONCRETO (ASTM C-40).⁵⁶

Se realizaron tres pruebas a cada banco de arena, utilizando **Solución de soda cáustica al 3%** (30 gr. de hidróxido de sodio por litro de solución) según norma. Después de la inmersión de la muestra de arena en la solución, por un período de 24 horas, se comparó el color de la solución de las muestras con la tabla de colores de Gardner, ambas arenas presentaron en los tres casos un color más claro que el color n° 1 de la tabla de colores de Gardner por lo que se aceptaron las arenas debido a que el contenido de impurezas orgánicas se encuentra dentro de la tolerancia.

4.1.2.2 ANALISIS GRANULOMETRICO (ASTM C-136).

La graduación y distribución de los tamaños de una muestra representativa de un banco, son determinados por medio de un análisis de mallas, para que los resultados de esta prueba sean representativos del material en el banco, ^{es} necesario que exista un historial de pruebas de granulometría, para contemplar la variación de la graduación del material

⁵⁶ Ver anexos al final del documento

del banco en función del tiempo en especial si el banco es fluvial (la arena se capta y acopia del arrastre de un río), debido a que los cambios granulométricos que se producen entre la estación seca y la lluviosa, son notables.

Para efectos de diseño de las mezclas de prueba, se realizaron en la arena del río Las Cañas tres (3) análisis granulométricos según norma ASTM C-136, obteniéndose los resultados detallados en las tablas 4.2 de las páginas 141-143 y comparados con los límites establecidos en la especificación ASTM C-33.

Debido a que la curva obtenida con los valores de la prueba realizada a la arena del río las cañas se mostró fuera de los límites establecidos para los tamaños que pasan la malla No 4 y son retenidos en la No 8, se determinó que era necesario tamizarla por la malla N° 4, para corregir la curva granulométrica del agregado fino a utilizar dentro de los límites establecidos en la norma ASTM C-33.

Después de tamizar todo el material, se repitieron tres pruebas granulométricas más, para establecer su módulo de finura. Las tablas 4.3 de las páginas 144-146 muestran los resultados de estos análisis así como el módulo de finura correspondiente a esa arena.

Tabla 4.2

GRANULOMETRIA DE ARENA Y GRAVA PARA CONCRETO.

FECHA DE PRUEBA: 29 de octubre/93 PESO DE MUESTRA: 521.1

LABORATORISTA: JAA REVISO: JAA

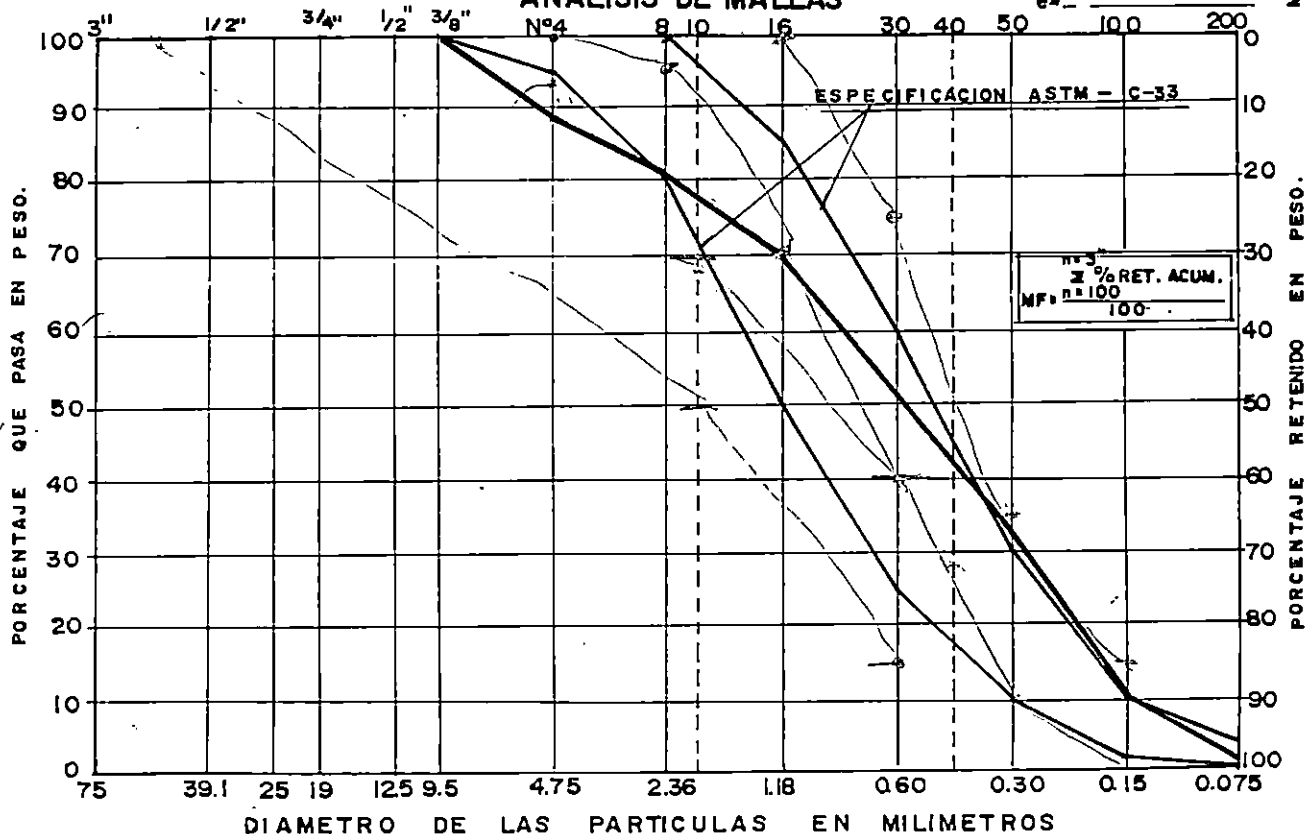
ARENA DE: Rio las Cañas GRAVA DE: (muestra # 1)

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
Nº 4	4.75	59.7	11.5	11.5	88.5
Nº 8	2.36	39.5	7.6	19.1	80.9
Nº 16	1.18	59.2	11.4	30.5	69.5
Nº 30	0.60	92.7	17.9	48.5	51.6
Nº 50	0.30	125.2	24.1	72.6	27.4
Nº 100	0.15	89.8	17.3	89.9	10.1
Nº 200	0.075	38.4	7.4	97.3	2.7
PASA Nº 200		14.2	2.7	100.0	0.0
SUMAS		518.7	100.0		

2.72 MF

ANALISIS DE MALLAS

e = 0.46 %



GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA

Tabla 4.2

GRANULOMETRIA DE ARENA Y GRAVA PARA CONCRETO.

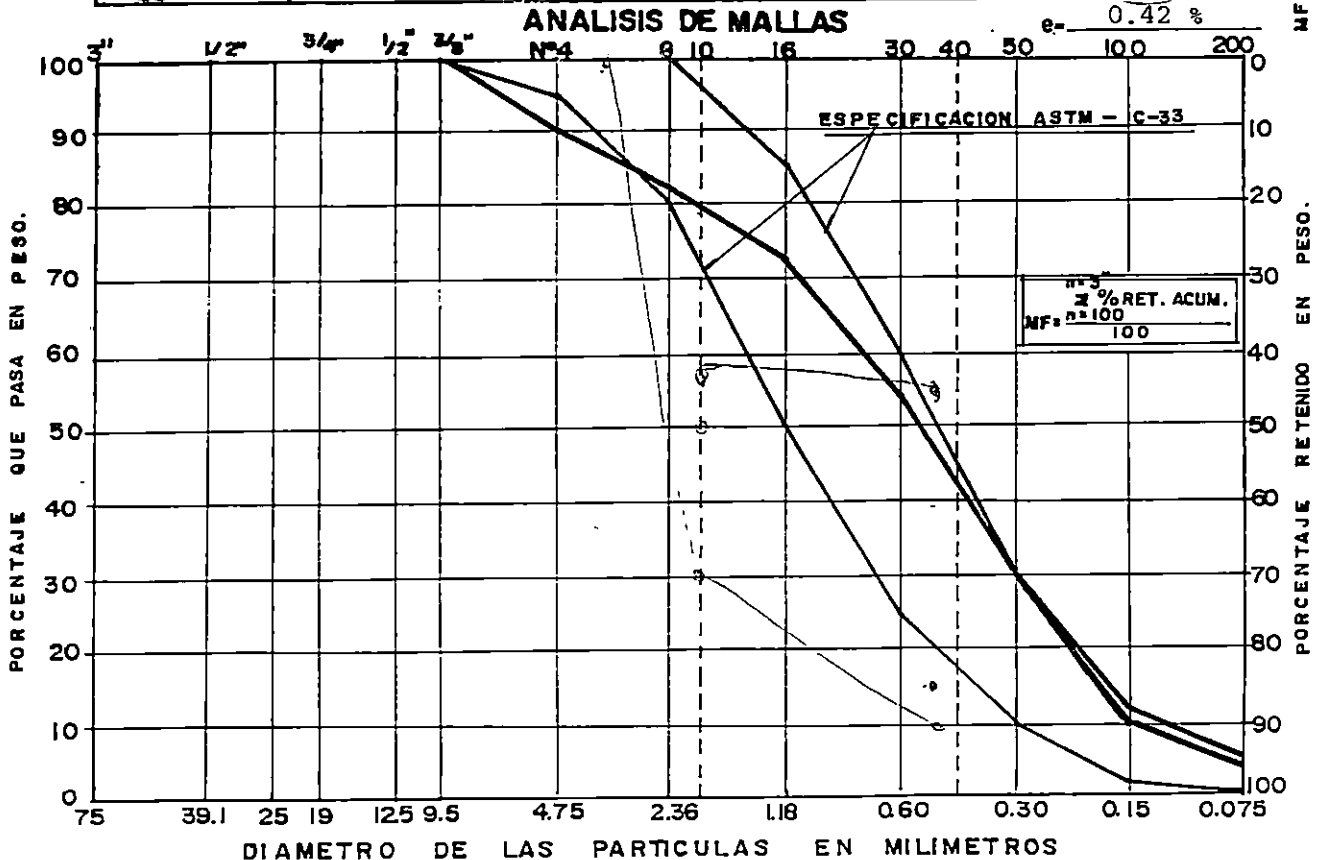
FECHA DE PRUEBA: 29 de-Oct/93 PESO DE MUESTRA: 541.8

LABORATORISTA: MAR REVISO: JAAC

ARENA DE: Río Las Cañas GRAVA DE: (Muestra No. 2)

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
Nº 4	4.75	53.7	9.9	9.9	90.1
Nº 8	2.36	37.2	6.9	16.8	83.2
Nº 16	1.18	56.3	10.4	27.2	72.8
Nº 30	0.60	97.5	18.1	45.3	54.7
Nº 50	0.30	134.1	24.9	70.2	29.8
Nº 100	0.15	97.6	18.1	88.3	11.7
Nº 200	0.075	46.0	8.5	96.8	3.2
PASA Nº 200		17.1	3.2	100.0	0.0
SUMAS		539.5	100.0		

ER 205
2.58 MF



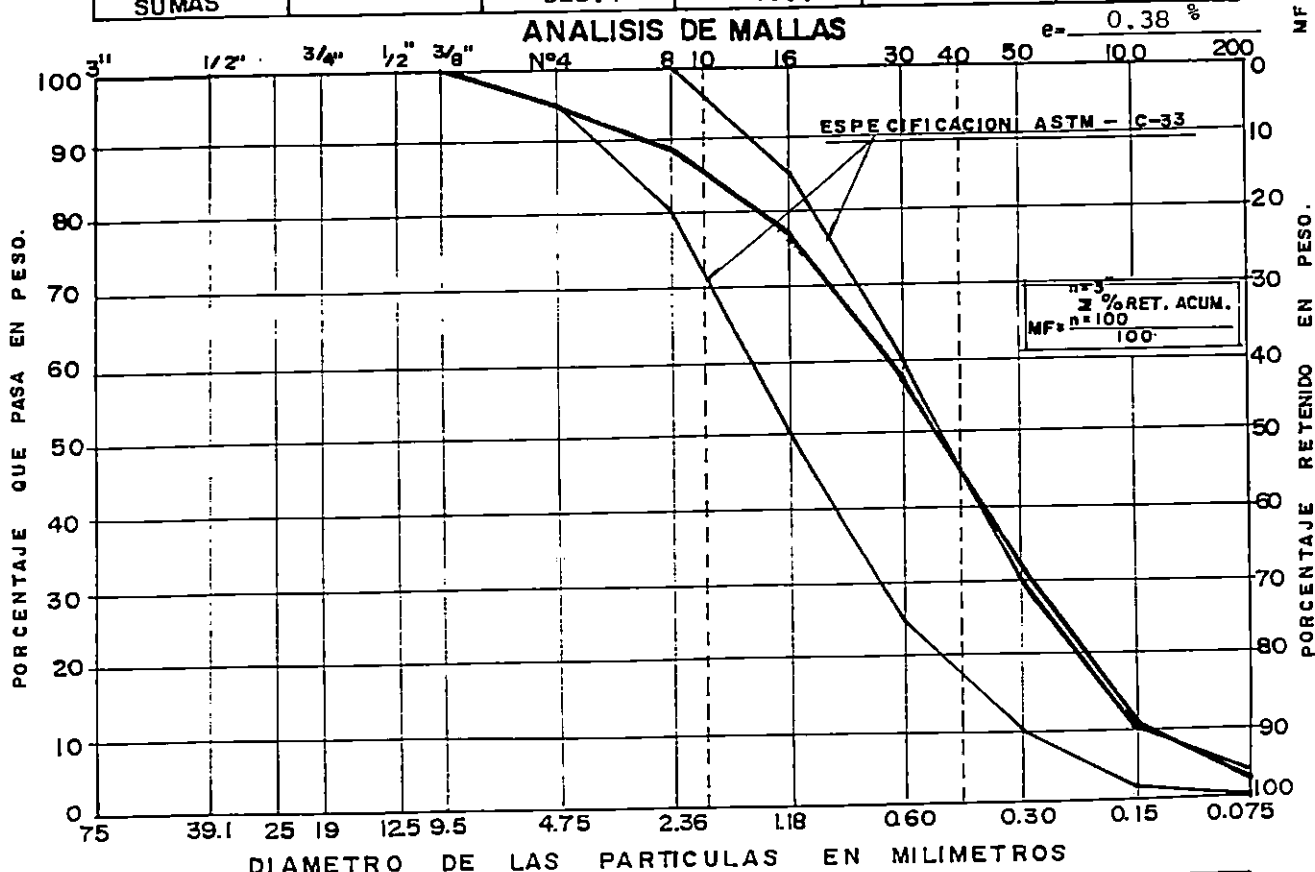
GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA

Tabla 4.2

GRANULOMETRIA DE ARENA Y GRAVA PARA CONCRETO.

FECHA DE PRUEBA: 29 de Oct./93 PESO DE MUESTRA: 527.1
 LABORATORISTA: J.A. Aguilar REVISO: J.A. Aguilar
 ARENA DE: Rio Las Cañas GRAVA DE: (Muestra No.3)

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				
Nº 4	4.75	27.7	5.3	5.3	94.7
Nº 8	2.36	34.7	6.6	11.9	88.1
Nº 16	1.18	57.7	11.0	22.9	77.1
Nº 30	0.60	98.0	18.6	41.5	58.5
Nº 50	0.30	144.9	27.6	69.1	30.9
Nº 100	0.15	103.8	19.8	88.9	11.1
Nº 200	0.075	42.7	8.1	97.0	3.0
PASA Nº 200		15.6	3.0	100.0	0.0
SUMAS		525.1	100.0		



GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA

Tabla 4.3

GRANULOMETRIA DE ARENA Y GRAVA PARA CONCRETO.

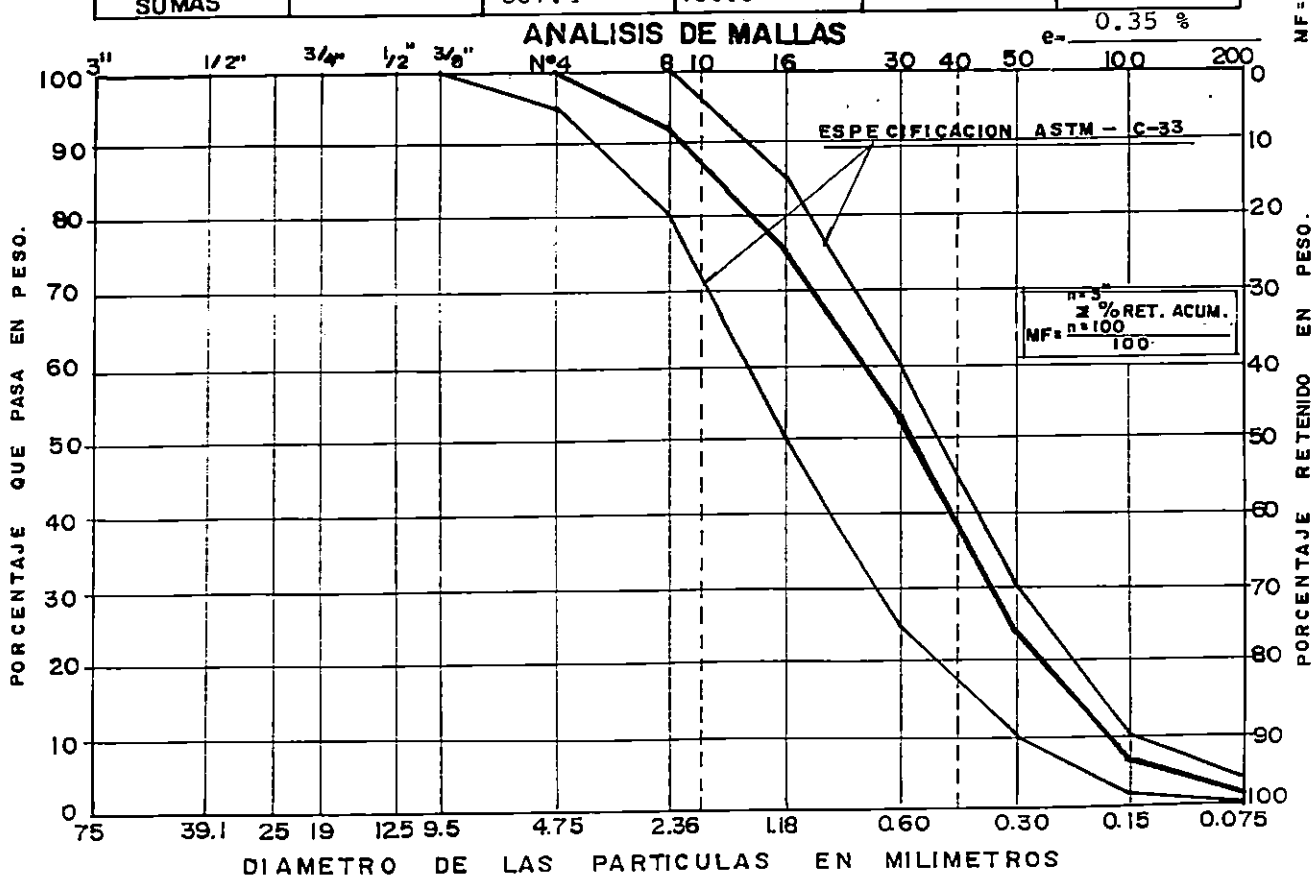
FECHA DE PRUEBA: 21 de abril/94 PESO DE MUESTRA: 509.2

LABORATORISTA: JAAC REVISO: JAAC

ARENA DE: Rio Las Cañas GRAVA DE: (Muestra No.4)

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				
Nº 4	4.75	5.6	1.1	1.1	98.9
Nº 8	2.36	40.1	7.9	9.0	91.0
Nº 16	1.18	84.2	16.6	25.6	74.4
Nº 30	0.60	142.6	28.1	53.7	46.3
Nº 50	0.30	131.9	26.0	79.7	20.3
Nº 100	0.15	75.1	14.8	94.5	5.5
Nº 200	0.075	23.8	4.7	99.2	0.8
PASA Nº 200		4.1	0.8	100.0	0.0
SUMAS		507.4	100.0		

ANALISIS DE MALLAS



GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA

Tabla 4.3

GRANULOMETRIA DE ARENA Y GRAVA PARA CONCRETO.

FECHA DE PRUEBA: 22 de abril del/94 PESO DE MUESTRA: 504.3

LABORATORISTA: JAAC REVISO: JAAC

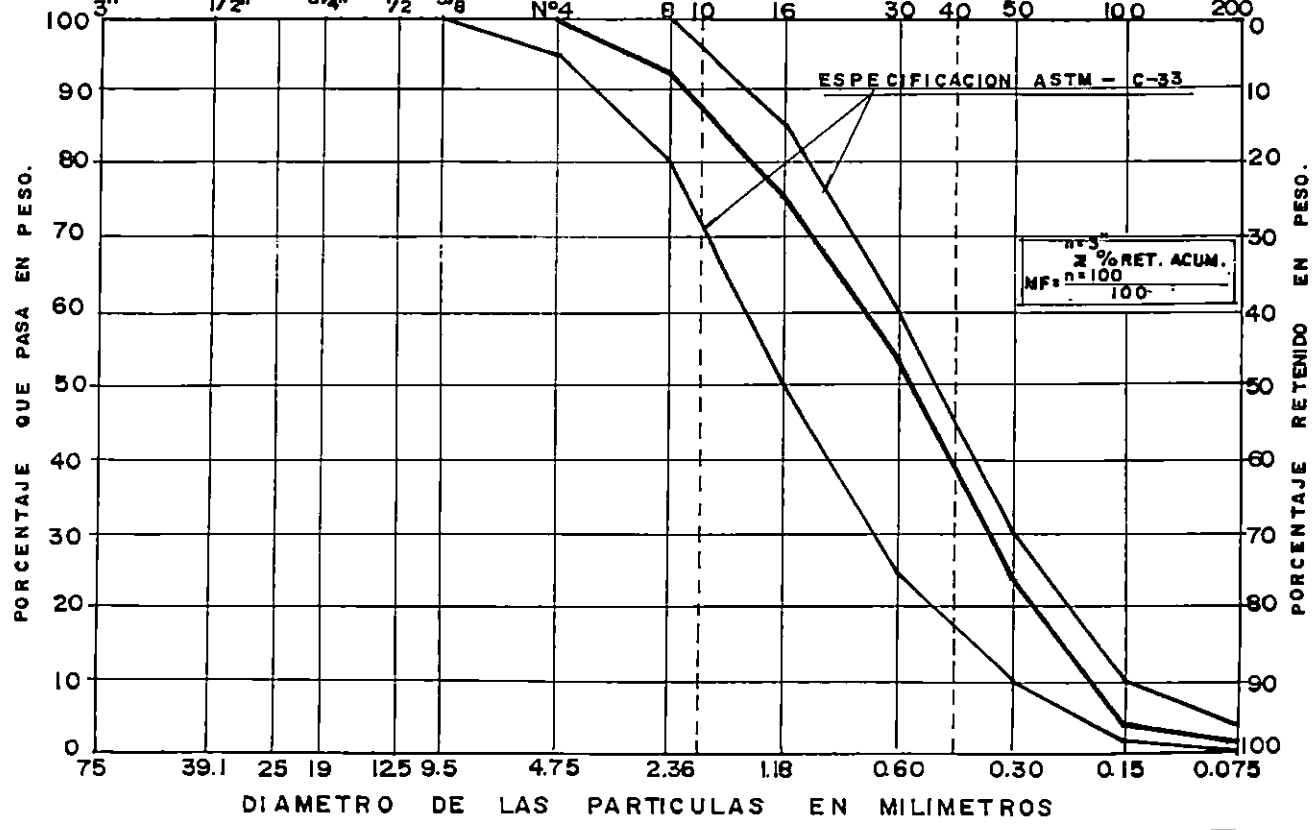
ARENA DE: RIO LAS CAÑAS GRAVA DE: MUESTRA # 5

MALLAS U.S. ESTANDARO	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				
Nº 4	4.75	0.7	0.1	0.1	99.9
Nº 8	2.36	39.6	7.9	8.0	92.0
Nº 16	1.18	83.3	16.6	24.6	75.4
Nº 30	0.60	111.8	22.2	46.8	53.2
Nº 50	0.30	148.9	29.7	76.5	23.5
Nº 100	0.15	87.3	17.4	93.9	6.1
Nº 200	0.075	24.5	4.9	98.8	1.2
PASA Nº 200		5.9	1.2	100.0	0.0
SUMAS		502.0			

MF: 2.50

ANALISIS DE MALLAS

e = 0.45%



GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA

Porcentaje de Agregado Fino en Peso

$$\frac{(a)}{(a) + (b)} * 100 = \frac{576.4}{576.4+969.26} * 100 = 37.29 \%$$

Porcentaje de Agregado Fino por Volumen

$$\frac{\text{Volumen de Agregado Fino}}{\text{Vol A.F. + Vol. A.G}} * 100 = \frac{0.220}{0.220+0.367} * 100 = 37.48 \%$$

11. Mezcla de Prueba por Bolsa de Cemento en Peso

$$\text{bolsas de cemento por m}^3 = (6.2)/42.5 = 640.6/42.5 = 15.07$$

Cemento	42.5	Kg	
Microsílica	-	Kg	
Superfluidificante	0.714	Kg	(i)
Agregado Fino	38.51	Kg	
Agregado Grueso	64.73	Kg	
Agua	15.020	Kg	*1
Peso Total por bachada	162.39	Kg	

Volumen de Aditivo a Medir

$$0.714 \text{ kg} * 1000 / 1.12 (G_{ad}) = 637.5 \text{ cc}$$

12. Información de Mezcla

Peso Unitario Calculado	=	_____	Kg/m ³
Revenimiento	=	13 y 15	cm
Peso Unitario Medido (real)	=	_____	Kg/m ³

Contenido de aire (real)	=	_____	%
--------------------------	---	-------	---

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

- *1 Divida el volumen de agua en dos partes aproximadamente iguales. Agruegue la primera parte a la mezcla y mezcle a fondo. La segunda parte, divídala en otras dos partes, y a una de ellas agregue el fluidificante (mezclándolo bien). Agregue esta parte a la bachada y mezcle a fondo. Use el agua restante sin fluidificante, para ajustar la mezcla al revenimiento requerido.

Notas :

- (1) Si el agua necesaria no varia, el diseño de mezcla ha sido confirmado, llene la información en el numeral 25 de la pág. 14

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

Mezcla de Cemento y Microsílica(SRA)

Mezcla de Ensayo : ACI 211.1-81

Práctica Recomendable para Seleccionar Proporcionamientos
 de Concreto Normal y Pesado.

Mezcla G

1 INFORMACION DE DISEÑO

Tipo de Cemento I PM Tamaño de Agregado Máximo 19 mm
 Tipo de Microsílica C Contenido de aire:(incluido) 0 %
 Tipo de Aditivo SUPERPLASTIFICANTE (atrapado) 1 %

Revenimiento Recomendado: Mínimo 7.5 cm
 Relación A/(C+P) 0.32 Máximo 12.5 cm
 Agua de Mezcla 205 kg/m³ En uso 10 cm

2 PROPORCION DE MICROSILICA, ADITIVO Y AGREGADO GRUESO A USAR

Microsílica por "Volumen" de Cemento (fv %) : 10.0 %
 Aditivo/100 kg/(Cemento+Microsílica) (Pad/100): 1.5 Kg
 Volumen de Agregado Grueso Seco 0.623 %

3 DATOS DE MATERIALES (de Pruebas Previas)

3.1 Gravedad Específica 3.2 Contenido Total de Humedad
 Agregado Fino 2.62 3.2.1. Agregado Fino 0.85 %
 Agregado Grueso 2.64 3.2.2. Agregado Grueso 0.92 %
 Microsílica (Ge_p) 2.23
 Aditivo (Ge_{ad}) 1.12 3.3 Absorción

Agregado Fino 3.72 %
 Agregado Grueso 2.36 %

3.4 Peso Unitario
 Agregado Grueso: 1555.8 kg/m³

3.5 % de Sólidos en Peso en el aditivo: 15.5 % 3.6. Módulo de finura : 2.77 ..

4. DETERMINACION DE RELACION A/(C+P) (Equivalencia de Volumen Absoluto)

$$\frac{A}{C+P} = \frac{3.10 \cdot A/(C+P)}{3.10(1-Fv) + Ge_p (Fv)} = \frac{3.10 (0.32)}{3.1(1-0.1) + (2.23(0.1))} = \frac{0.329}{3.1} \approx 0.33$$

5. DETERMINACION DE MICROSILICA EN PESO

$$Fw \% = \frac{1}{1 + \left(\frac{3.10}{Ge_p}\right) \left(\frac{1}{Fv} - 1\right)} * 100 = \frac{1}{1 + \left(\frac{3.10}{(2.23) 0.1}\right) \left(\frac{1}{0.1} - 1\right)} * 100 = \underline{7.40 \%}$$

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

Contenido de Cemento más Microsíllica

$$(C+P) = \frac{A}{A/(C+P)} = \frac{205}{0.33} = \underline{621.21 \text{ kg/m}^3}$$

$$6.1. \text{Contenido de Microsíllica} = \boxed{P = Fw(C+P)}$$

$$P = (C+P) * (Fw) = \underline{621.21} * \underline{0.074} = \underline{45.97}$$

$$6.2. \text{Contenido de Cemento} = \underline{(C+P) - P = \text{Cemento}}$$

$$(C+P) - \frac{(C+P) * (Fw)}{P} = \underline{621.21} - \underline{45.97} = \underline{575.24 \text{ kg/m}^3}$$

6.3. Contenido de Aditivo

$$P_{ad}/100 \text{ kg} * \frac{W(C+P)}{100} * Ge_{ad} = \underline{1.5} * \frac{\underline{621.21}}{100} * 1.12 = \underline{10.44 \text{ kg/m}^3}$$

7. CORRECCION DE AGUA DE MEZCLA POR AGUA EN ADITIVO

$$\text{Agua} \dots \dots \dots \underline{205} \text{ Kg/m}^3$$

Menos Agua presente en aditivo para mezcla

$$\underline{10.763 \text{ Kg/m}^3} * (15.5 \% \text{ Sólidos}) = \dots \dots \dots \underline{8.82} \text{ kg/m}^3$$

$$7.1. \text{Peso de Agua Corregido} \dots \dots \dots \underline{196.18} \text{ Kg/m}^3$$

8. CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO EN PESO

$$0.623 \% \text{ en Volumen} * 1555.8 \text{ (peso unitario)} = 969.26 \text{ Kg/m}^3$$

9. DETERMINACION DE VOLUMENES ABSOLUTOS

Cemento (6.2)	<u>575.24</u> Kg/m ³	÷ (3.10 G.e * 1000)	=	<u>0.186</u> m ³
Microsílica (6.1)	<u>45.97</u> Kg/m ³	÷ (2.23 G.e * 1000)	=	<u>0.021</u> m ³
Aditivo (6.3)	<u>10.44</u> kg/m ³	÷ (1.12 G.e * 1000)	=	<u>0.009</u> m ³
Agua Corregida (7.1)	<u>196.18</u> Kg/m ³	÷ (1.0 G.e * 1000)	=	<u>0.196</u> m ³
Agregado Grueso (8)	<u>969.26</u> Kg/m ³	÷ (2.64 G.e * 1000)	=	<u>0.367</u> m ³

Aire Incluido o Atrapado	<u>1</u> %/100	=	<u>0.01</u> m ³
Subtotal peso = <u>1797.09</u> Kg/m ³	Volumen =	<u>0.789</u> m ³	
Agregado Fino	1 - <u>0.789</u>	=	<u>0.211</u> m ³

$$0.211 \text{ m}^3 * 2.62 \text{ Ge} * 1000 = 552.82 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso Total} = 2349.91 \text{ Kg/m}^3 \text{ Total Vol. Absoluto} = 1.000 \text{ m}^3$$

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 (6.2)	<u>575.24</u>	<u>575.24</u>
Microsílica (6.1)	<u>45.97</u>	<u>45.97</u>
Aditivo (6.3)	<u>10.44</u>	<u>10.44</u>
Agregado Fino (P.V.V.) :	<u>552.82 (a)</u>	
Más (3.2.1) <u>0.85</u> % Humedad Total	<u>4.70 (d) =</u>	<u>557.52 (a+d)</u>
Agregado Grueso :	<u>969.26 (b)</u>	
Más (3.2.2) <u>0.92</u> % Humedad Total	<u>8.92 (e) =</u>	<u>978.18 (b+e)</u>
Agua	<u>196.18</u>	
Menos contenido de agua en el Agregado fino y Grueso:	<u>13.62</u>	(d+e)
Sub - Total	<u>182.56</u>	(h)
Más <u>3.72</u> % Absorción por Agregado Fino	<u>20.565 (f)</u>	
Más <u>2.36</u> % Absorción por Agregado Grueso	<u>22.875 (g) =</u>	<u>226. (c)</u>

$$i \text{ Peso Total} \underline{2393.35 \text{ kg/m}^3}$$

Porcentaje de Agregado Fino en Peso

$$\frac{(a)}{(a) + (b)} * 100 = \frac{552.82}{552.82+969.26} * 100 = 36.32 \%$$

Porcentaje de Agregado Fino por Volumen

$$\frac{\text{Volumen de Agregado Fino}}{\text{Vol A.F. + Vol. A.G.}} * 100 = \frac{0.211}{0.211+0.367} * 100 = 36.51 \%$$

11. Mezcla de Prueba por Bolsa de Cemento en Peso

$$\text{bolsas de cemento por m}^3 = (6.2)/42.5 \text{ kg} = 13.54$$

Cemento	42.5	Kg
Microsílica	3.40	Kg
Superfluidificante	0.771	Kg (i)
Agregado Fino	41.18	Kg
Agregado Grueso	72.25	Kg
Agua	16.70	Kg *1
Peso Total por bachada	176.801	Kg

Volumen de Aditivo a Medir

$$0.771 \text{ kg} * 1000 / 1.12 (G_{ad}) = 688.7 \text{ cc}$$

12. Información de Mezcla

Peso Unitario Calculado	=	2393.35	Kg/m ³
Revenimiento	=	10	cm
Peso Unitario Medido (real)	=		Kg/m ³

Contenido de aire (real)	=		%
--------------------------	---	--	---

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

- *1 Divida el volumen de agua en dos partes aproximadamente iguales. Agruegue la primera parte a la mezcla y mezcle a fondo. La segunda parte, divídala en otras dos partes, y a una de ellas agregue el fluidificante (mezclándolo bien). Agregue esta parte a la bachada y mezcle a fondo. Use el agua restante sin fluidificante, para ajustar la mezcla al revenimiento requerido.

Notas :

- (1) Si el agua necesaria no varia, el diseño de mezcla ha sido confirmado, llene la información en el numeral 25 de la pág. 14

TECNOLOGIA AVANZADA DEL CONCRETO
DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO-METODO DE VOLUMEN ABSOLUTO
 Mezcla de Cemento y Microsílica(SRA)
 Mezcla de Ensayo : ACI 211.1-81
 Práctica Recomendable para Seleccionar Proporcionamientos
 de Concreto Normal y Pesado.

Mezcla H.

1 INFORMACION DE DISEÑO

Tipo de Cemento	<u>I PM</u>	Tamaño de Agregado Máximo	<u>19</u>	mm
Tipo de Microsílica	<u>C</u>	Contenido de aire:(incluido)	<u>0</u>	%
Tipo de Aditivo	<u>SUPERPLASTIFICANTE</u>	(atrapado)	<u>1</u>	%
		Revenimiento Recomendado: Mínimo	<u>7.5</u>	cm
Relación A/(C+P)	<u>0.32</u>	Máximo	<u>12.5</u>	cm
Agua de Mezcla	<u>205</u>	kg/m ³	En uso <u>10</u>	cm

2 PROPORCION DE MICROSILICA, ADITIVO Y AGREGADO GRUESO A USAR

Microsílica por Volumen de Cemento (fv %)	: <u>5</u>	%
Aditivo/100 kg/(Cemento+Microsílica) (Pad/100):	<u>1.5</u>	Kg
Volumen de Agregado Grueso Seco	<u>0.623</u>	%

3 DATOS DE MATERIALES (de Pruebas Previas)

3.1 Gravedad Específica	3.2 Contenido Total de Humedad
Agregado Fino <u>2.62</u>	3.2.1. Agregado Fino <u>0.85</u> %
Agregado Grueso <u>2.64</u>	3.2.2. Agregado Grueso <u>0.92</u> %
Microsílica(Ge _p) <u>2.23</u>	
Aditivo (Ge _{ad}) <u>1.12</u>	3.3 Absorción
	Agregado Fino <u>3.72</u> %
	Agregado Grueso <u>2.36</u> %
3.4 Peso Unitario	
Agregado Grueso: <u>1555.8</u> kg/m ³	
3.5 % de Sólidos en Peso en el aditivo: <u>15.5</u> %	3.6 Módulo de finura : <u>2.77</u>

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

$$\frac{3.10 \text{ A/(C+P)}}{3.10(1-Fv) + Ge_p (Fv)} = \frac{3.10 (0.32)}{3.1(1-0.05+(2.23(0.1))} = \frac{0.313}{0.31} \%$$

5. DETERMINACION DE MICROSILICA EN PESO

$$Fw \% = \frac{1}{1 + \left(\frac{3.10}{Ge_p}\right) \left(\frac{1}{Fv} - 1\right)} * 100 = \frac{1}{1 + \left(\frac{3.10}{(2.23)}\right) \left(\frac{1}{0.05} - 1\right)} * 100 = \underline{3.65 \%}$$

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

Contenido de Cemento más Microsíllica

$$(C+P) = \frac{A}{A/(C+P)} = \frac{205}{0.31} = \underline{661.29} \text{ kg/m}^3$$

6.1. Contenido de Microsíllica

$$(C+P) * (Fw) = \underline{661.29} * \underline{0.05} = \underline{33.06}$$

6.2. Contenido de Cemento

$$(C+P) - (C+P) * (Fw) = \underline{661.29} - \underline{33.06} = \underline{628.23} \text{ kg/m}^3$$

6.3. Contenido de Aditivo

$$P_{ad}/100 \text{ kg} * \frac{W(C+P)}{100} * Ge_{ad} = \underline{1.5} * \frac{661.29}{100} * 1.12 = \underline{11.41} \text{ kg/m}^3$$

7. CORRECCION DE AGUA DE MEZCLA POR AGUA EN ADITIVO

$$\text{Agua} \dots \dots \dots \underline{205} \text{ Kg/m}^3$$

Menos Agua presente en aditivo para mezcla

$$11.407 \text{ Kg/m}^3 * (1 - 0.155 \% \text{ Sólidos}) = \dots \dots \dots \underline{9.64} \text{ kg/m}^3$$

$$7.1. \text{ Peso de Agua Corregido} \dots \dots \dots \underline{195.36} \text{ Kg/m}^3$$

8. CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO EN PESO

0.623 % en Volumen * 1555.8 (peso unitario) = 969.26 Kg/m³

9. DETERMINACION DE VOLUMENES ABSOLUTOS

Cemento	(6.2)	<u>628.23</u> Kg/m ³	÷	(<u>3.10</u> G.e * 1000)	=	<u>0.203</u> m ³
Microsílica	(6.1)	<u>33.06</u> Kg/m ³	÷	(<u>2.23</u> G.e * 1000)	=	<u>0.015</u> m ³
Aditivo	(6.3)	<u>11.41</u> kg/m ³	÷	(<u>1.12</u> G.e * 1000)	=	<u>0.010</u> m ³
Agua Corregida	(7.1)	<u>195.36</u> Kg/m ³	÷	(<u>1.0</u> G.e * 1000)	=	<u>0.195</u> m ³
Agregado Grueso	(8)	<u>969.26</u> Kg/m ³	÷	(<u>2.64</u> G.e * 1000)	=	<u>0.367</u> m ³

Aire Incluido o Atrapado	. . . . .	<u>1</u> %/100	. . . . .	=	<u>0.010</u> m ³
Subtotal	peso =	<u>1837.32</u> Kg/m ³	. . . . .	Volumen =	<u>0.790</u> m ³
Agregado Fino	. . . . .	1 - <u>0.790</u>		=	<u>0.210</u> m ³

0.210 m³ * 2.62 Ge * 1000 = 550.20 kg/m³

Peso Total = 2387.52 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 (6.2)	<u>628.23</u>	<u>628.23</u>
Microsílica (6.1)	<u>33.06</u>	<u>33.06</u>
Aditivo (6.3)	<u>11.41</u>	<u>11.41</u>
Agregado Fino (P.V.V.)	<u>550.20 (a)</u>	
Más (3.2.1) <u>0.85</u> % Humedad Total		<u>4.68 (d) =</u>
<u>554.88 (a+d)</u>		
Agregado Grueso	<u>969.26 (b)</u>	
Más (3.2.2) <u>0.92</u> % Humedad Total	<u>8.92 (e) =</u>	<u>978.18 (b+e)</u>
Agua	<u>195.36</u>	
Menos contenido de agua en el		
Agregado fino y Grueso:	<u>13.60</u>	(d+e)
Sub - Total	<u>181.76</u>	
Más 3.72 % Absorcion de Agregado Fino	<u>20.47 (f)</u>	
Más 2.36 % Absorcion de Agregado grueso	<u>22.87 (g) =</u>	<u>225.10 (c)</u>
Peso Total		<u>= 2430.86</u>

Porcentaje de Agregado Fino en Peso

$$\frac{(a)}{(a) + (b)} * 100 = \frac{550.20}{550.20+969.26} * 100 = 36.21 \%$$

Porcentaje de Agregado Fino por Volumen

$$\frac{\text{Volumen de Agregado Fino}}{\text{Vol A.F.} + \text{Vol. A.G}} * 100 = \frac{0.21}{0.21 + 0.367} * 100 = 36.40 \%$$

11. Mezcla de Prueba por Bolsa de Cemento en Peso

bolsas de cemento por m³ = (628.23)/42.5 kg= 14.781

Cemento	<u>42.5</u>	Kg
Microsílica	<u>2.237</u>	Kg
Superfluidificante	<u>0.772</u>	Kg (i)
Agregado Fino	<u>37.538</u>	Kg
Agregado Grueso	<u>66.174</u>	Kg
Agua	<u>15.228</u>	Kg *1
Peso Total por bachada	<u>164.449</u>	Kg

Volumen de Aditivo a Medir

$$\frac{0.772 \text{ kg} * 1000}{1.12} (G_{ad}) = 689 \text{ cc}$$

12. Información de Mezcla

Peso Unitario Calculado	=	<u>2430.86</u>	Kg/m ³
Revenimiento	=	<u>5 y 5</u>	cm
Peso Unitario Medido (real)	=	_____	Kg/m ³

Contenido de aire (real) = _____ %

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

*1 Divida el volumen de agua en dos partes aproximadamente iguales. Agruegue la primera parte a la mezcla y mezcle a fondo. La segunda parte, divídala en otras dos partes, y a una de ellas agreguele el fluidificante (mezclandolo bien). Agreguele esta parte a la bachada y mezcle a fondo. Use el agua restante sin fluidificante, para ajustar la mezcla al revenimiento requerido.

Notas :

(1) Si el agua necesaria no varia, el diseño de mezcla ha sido confirmado, llene la información en el numeral 25 de la pág. 14

Las características obtenidas de las ocho mezclas de prueba se detallan en la tabla 4.17

TABLA 4.17 MEZCLAS DE PRUEBA

MEZCLA	A	(B)	C	D	E	(F)	G	H	
Relación agua/cementantes	0.27	(0.28)	0.29	0.33	0.33	(0.32)	0.33	0.31	
Agua (Kg/m ³)	215	190	190	190	214.4	205	205	205	
Cemento tipo I p.m. (Kg/m ³)	796.3	678.6	582.9	575.8	601.2	640.6	572.2	682.2	
superplastificante % en peso de cementantes	-	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
Superplast.(Kg/m ³)	-	11.4	10.6	9.7	10.9	10.7	10.4	11.4	
Microsilíca (Kg/m ³)	-	(-)	47.0	42.9	48.5	(-)	46.0	33.1	
Agregado grueso	Peso Unitario (Kg/m ³)	1011.3	1019.5	976.6	1019.5	1019.5	969.3	969.3	969.3
	G.e.	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64
	Absorción %	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36
Agregado fino	Peso Unitario (Kg/m ³)	335.0	452.8	404.3	505.9	399.2	576.4	552.8	550.2
	G.e.	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.64	2.64	2.64
	Absorción %	7.92	7.92	7.92	7.92	7.92	3.72	3.72	3.72
	MF	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.77	2.77	2.77
	% en peso de A.G.	34.3	30.6	30.6	33.2	28.1	37.3	36.3	36.2
revenimiento (cm)	5	12.5	8	5	4	14	10	7	

Continuación Tabla 4.17

MEZCLA	A	B	C	D	E	F	G	H
Máxima resistencia a 28 días	510.9	515.4	445.6	480.2	-	546.7	566.7	451.4
Máxima resistencia a 60 días	581.0	591.0	316.1	486.3	416.1	633.8	549.7	493.6
Peso Volumétrico (Ton/m ³)	1464.5	1464.5	1464.5	1464.5	1464.5	1582.2	1582.2	1582.2
Comentarios	*1,2	*2	*2	*2	*2	*3	*3	*3

*1 Mezcla de control

*2 se utilizó arena del río Las Cañas

*3 se utilizó arena del río Jiboa

4.5 CONCRETO FRESCO.

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 gr. y el aditivo medido en volumen.

Se utilizaron diferentes métodos en cuanto al orden de cargar los componentes, sobre todo en la adición de la microsílca (MS) la cual fue añadida algunas veces antes y después de dosificar el cemento y otras añadiéndola directamente a una parte del agua

de mezcla. Además se varió el tiempo de mezclado, en el rango de 5 a 12 minutos, medidos después de completar la carga de los componentes, incluido el agua y el superplastificante.

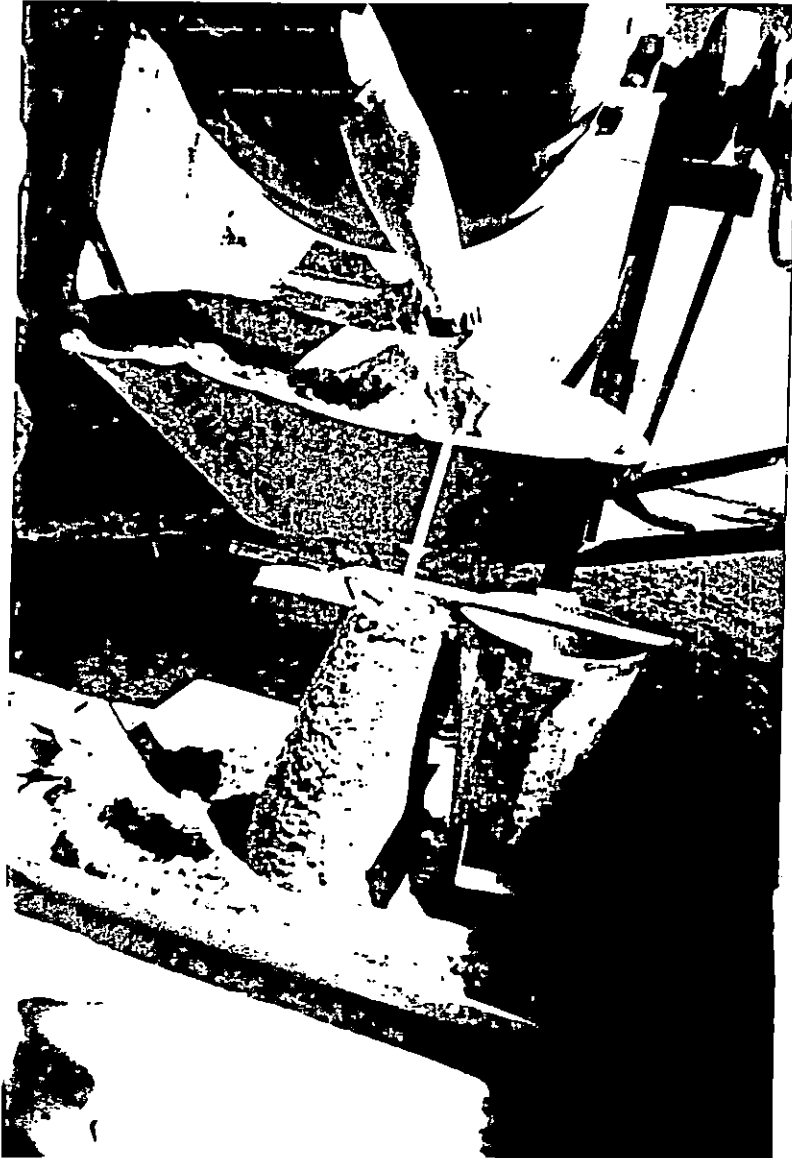
Los mayores tiempos de mezclado fueron los de las mezclas que contenían microsilica, debido a que la uniformidad fue más difícil de conseguir en este tipo de mezclas.

El asentamiento se midió a diferentes intervalos de tiempo, desde que se completó la carga en la mezcladora, hasta que se descargó la última porción de la concretera.

Las primeras cinco mezclas (A, B, C, D Y E) fueron consolidadas mediante el método de varillado conforme a la norma ASTM C-159, las siguientes tres mezclas (F,G,H) se consolidaron con vibrador conforme a la misma norma, este cambio se realizó debido a la dificultad que presentaba este concreto para consolidarlo por el simple varillado, lo que origino en algunos especímenes una matriz con poros.

El asentamiento fue medido por medio del cono de Abrams (ASTM C-143), y los revenimientos obtenidos fueron de 4 a 14 cm. (ver pág. 188). En algunos casos fue necesario incrementar la proporción de cementantes y agua manteniendo constante la relación $a/c+p$, con la finalidad de aumentar el asentamiento. → *Algeraron el diseño.*

Dentro de las condiciones imperantes del día durante el proceso de elaboración de las mezclas cabe mencionar que:



LA FOTO MUESTRA EL ASENTAMIENTO LOGRADO EN
LA PRUEBA DE REVENIMIENTO (ASTM C-143) PARA
UNA MEZCLA DE CONCRETO CON MICROSILICA (MEZCLA D)

-) La temperatura en el laboratorio fue de $30^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{ C}$
-) La humedad del medio ambiente fue seca.
-) El viento de moderado a ligero.
-) Los mezclados fueron realizados entre las 10:00 am y las 3:00 pm.
-) Se realizaron revolturas en la mezcladora, cargas dosificadas para 1 y/o 2 bolsas de cemento, para poder completar aproximadamente 30 cilindros por dosificación. El total de cilindros fabricados de las 8 dosificaciones fue de 213 especímenes de 150 mm. x 300 mm según norma (ASTM C-192) y 48 cilindros de 100 mm. x 200 mm.

En la mezcladora, 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.

Durante la fabricación de las primeras cinco mezclas, existió viento moderado. En las últimas tres el viento tuvo menores velocidades.

4.6 CONCRETO ENDURECIDO.

Las muestras de concreto, fueron desmoldadas e inmersas en agua con cal, a las 24 ± 3 horas después de colados. Y se dejaron en la pila de curado, hasta cumplir la edad de prueba o 90 días.

Las pruebas realizadas al concreto endurecido fueron solamente tres: resistencia a la compresión, resistencia a la tensión y durabilidad

4.6.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

Los ensayos se realizaron a la edad de 7, 14, 28, 60 y 90 días para elaborar la curva edad contra resistencia, esta gráfica edad-resistencia se calculó tomando el resultado del promedio de tres cilindros ensayados para cada fecha de prueba, pero si durante el ensayo de las muestras el espécimen falló por un cabeceo defectuoso, o cualquier otra causa evidente al realizar los exámenes visuales posteriores a la ruptura (tales como presencia de vacíos, colmenas, zonas con debilidad, etc.), y el promedio de los tres generó desviaciones altas, se desechó el resultado del cilindro defectuoso al calcular el promedio.

El cabeceo se realizó utilizando material de alta resistencia, dicho proceso se inició al menos 4 horas antes de la ruptura, con el objeto de garantizar una distribución uniforme de esfuerzos (ASTM C-617).

En el caso de la mezcla de control ("A"), se realizó la ruptura de 16 cilindros sometidos a la prueba de compresión a la edad de 90 días para aplicar un análisis estadístico al comportamiento y dispersión de los resultados, pero los datos obtenidos no son suficientes como para generar un análisis estadístico confiable.

Los resultados de la ruptura por cada mezcla, son mostrados en las tablas 4.18 y sus respectivos gráficos de las páginas 191 a la 206. Para las mezclas F, G y

ENSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA COMPRESION

MEZCLA : A

FECHA DE COLADO: 10/1/94

FECHA DE ENSAYO:

PROCEDENCIA: arena de las cañas

RELACION A/C : 0.27

ADITIVOS : 0.00 %

ADICIONES: 0.00 %

CILINDRO	DIAMETRO	ALTURA	AREA	VOLUMEN	PESO	PESO	EDAD	CARGA	ESFUERZO
No	(cms)	(cms)	(cm2)	(cm3)	(Kgs)	VOLUMETRICO (Kgs/m3)	(dias)	ULTIMA (Kgf)	ULTIMO (Kgf/cm2)
4	15.4	30.1	187.0	5628.4	12.7	2247.5		62250	332.9
5	15.4	30.0	186.3	5588.0	12.7	2263.8	7	63250	339.6
6	15.5	30.2	188.7	5698.5	12.4	2176.0		58500	310.0
29	15.2	30.2	180.9	5462.0	12.6	2297.7		76500	423.0
30	15.2	30.3	181.8	5498.1	12.6	2293.3	14	67500	371.4
31	15.3	30.1	182.7	5497.9	12.5	2273.6		69000	377.8
3	15.1	30.0	179.1	5372.4	12.5	2327.1		91500	510.9
12	15.3	30.0	183.9	5515.6	12.6	2291.9	28	82000	446.0
34	15.2	30.0	181.5	5443.8	12.5	2301.2		85000	468.4
1	15.4	30.0	185.1	5551.7	12.4	2239.8		105250	568.7
11	15.4	30.1	186.7	5621.1	12.6	2241.5	60	108500	581.0
15	15.2	30.3	181.0	5483.7	12.6	2299.5		103000	569.1
9	15.4	30.5	185.1	5644.3	12.9	2278.2		102500	553.9
38	15.7	30.0	193.6	5807.8	13.5	2332.9	90	101250	523.0
17	15.4	30.6	185.1	5662.8	12.9	2271.7		106000	572.8

} 32750

} 425.10 Kn/cm²

OBSERVACIONES: revenimiento 5 cm.

Mezcla A= Mezcla de Control sin ningún tipo de aditivo o adición

ENSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA COMPRESION

MEZCLA : B

FECHA DE COLADO: 01/02/94

FECHA DE ENSAYO:

PROCEDENCIA: ARENA DE LAS CAÑAS

RELACION A/C : 0.28

ADITIVOS : 1.5 % SUPERPLASTIFICANTE "SIKAMENT"

ADICIONES: 0.0 %

CILINDRO	DIAMETRO	ALTURA	AREA	VOLUMEN	PESO	PESO	EDAD	CARGA	ESFUERZO
No	(cms)	(cms)	(cm2)	(cm3)	(Kgs)	VOLUMETRICO (Kgs/m3)	(dias)	ULTIMA (Kgf)	ULTIMO (Kgf/cm2)
53	15.3	30.5	182.9	5578.3	12.5	2249.4		64000	349.9
55	15.4	30.4	185.3	5633.1	12.6	2243.0	7	57750	311.7
61	15.4	30.4	186.3	5662.5	12.8	2253.1		59750	320.8
54	15.4	30.6	185.5	5677.5	12.8	2260.5		76000	409.6
56	15.4	30.6	185.1	5653.5	12.7	2252.9	14	62000	335.0
57	15.6	30.5	191.1	5820.0	12.6	2170.3		75000	392.4
63	15.1	30.0	178.6	5358.1	12.6	2360.0		84000	470.3
69	15.2	30.0	181.0	5429.4	12.9	2377.8	28	80000	442.0
74	15.3	30.0	184.3	5530.0	12.8	2315.4		95000	515.4
62	15.2	30.5	181.5	5534.5	12.5	2251.9		107250	591.0
77	15.1	30.8	179.1	5515.6	12.8	2316.0	60	102500	572.4
68	15.1	30.7	179.1	5497.7	12.6	2284.6		98000	547.2
80	15.4	30.4	185.1	5625.7	12.7	2257.5		97000	524.2
81	15.2	30.5	181.5	5534.5	12.7	2295.1	90	76250	420.2
88	15.5	30.5	187.5	5718.0	13.1	2299.0		83250	444.1

327.47

OBSERVACIONES: revenimiento 12.5 cm.

ENSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA COMPRESION

MEZCLA : C1 Y C2

FECHA DE COLADO: 24/02/94 01/03/94

FECHA DE ENSAYO:

PROCEDENCIA: ARENA DE LAS CAÑAS

RELACION A/C : 0.29

ADITIVOS : 1.5 % SIKAMENT

ADICIONES: 10.0 % -MICROSILICA

CILINDRO No	DIAMETRO (cms)	ALTURA (cms)	AREA (cm2)	VOLUMEN (cm3)	PESO (Kgs)	PESO VOLUMETRICO (Kgs/m3)	EDAD (dias)	CARGA ULTIMA (Kgf)	ESFUERZO ULTIMO (Kgf/cm2)
87	15.2	30.5	182.2	5547.2	12.2	2202.2		63750	349.9
85	15.3	30.5	182.9	5578.3	12.2	2187.2	7	55250	302.1
88	15.3	30.8	184.8	5686.8	12.4	2188.2		60250	326.0
115	15.4	30.5	186.3	5681.1	12.5	2207.3		73000	391.9
126	15.4	30.6	186.3	5699.7	12.5	2199.2	14	69000	370.4
127	15.2	30.5	181.5	5534.5	12.4	2246.8		72000	396.8
89	15.1	30.8	179.1	5515.6	12.3	2223.5		70250	392.3
91	15.4	30.5	186.3	5681.1	12.2	2153.6	28	83000	445.6
93	15.3	30.5	183.9	5607.5	12.5	2224.1		77000	418.8
104	15.3	30.6	183.9	5625.9	12.5	2224.3		75500	410.7
105	15.3	30.5	183.9	5607.5	12.4	2214.5	60	74000	402.5
96	15.3	30.1	183.9	5534.0	12.3	2214.7		76500	416.1
97	15.2	30.4	182.1	5534.5	12.3	2229.1		75000	412.0
98	15.3	30.4	182.7	5558.8	12.3	2217.4	90	80500	440.7
101	15.3	30.4	182.7	5558.8	12.4	2226.9		74500	407.9

REVENIMIENTO: 4 cm de revenimiento

ENSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA COMPRESION

MEZCLA : 0

FECHA DE COLADO: 03/03/94

FECHA DE ENSAYO:

PROCEDENCIA: ARENA DE LAS CAÑAS

RELACION A/C : 0.33

ADITIVOS : 1.5 % SIKAMENT

ADICIONES: 10.0 % MICROSILICA

CILINDRO No	DIAMETRO (cms)	ALTURA (cms)	AREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	PESO (Kgs)	PESO VOLUMETRICO (Kgs/m ³)	EDAD (dias)	CARGA ULTIMA (kgf)	ESFUERZO ULTIMO (Kgf/cm ²)
153	15.2	30.4	181.5	5516.3	12.4	2245.2		32750	180.5
155	15.2	30.4	181.5	5516.3	12.5	2256.9	7	39500	217.7
157	15.2	30.4	181.5	5516.3	12.4	2244.2		36500	201.1
148	15.3	30.5	183.9	5607.5	12.5	2224.7		59750	325.0
152	15.3	30.6	183.9	5625.9	12.5	2225.4	14	61000	331.8
158	15.3	30.5	183.9	5607.5	12.6	2241.6		57500	312.7
117	15.1	30.7	179.1	5497.7	12.5	2270.0		86000	480.2
125	15.2	30.5	181.5	5534.5	12.4	2245.0	28	86000	473.9
121	15.4	30.7	186.3	5718.3	12.6	2201.3		86550	464.7
110	15.2	30.4	181.5	5516.3	12.4	2244.2		88250	486.3
124	15.2	30.5	181.5	5534.5	12.4	2245.0	60	87000	479.4
130	15.3	30.5	183.9	5607.5	12.5	2224.7		85500	465.0
154	15.4	30.5	186.3	5681.1	12.6	2215.8		86750	465.7
156	15.4	30.2	186.3	5625.2	12.6	2237.8	90	87500	469.8
127	15.2	30.4	181.5	5516.3	12.4	2244.2		82500	454.6

199.77

OBSERVACIONES: revenimiento 5 cm.

ENSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA COMPRESION

MEZCLA : E

FECHA DE COLADO: 10/03/94

FECHA DE ENSAYO:

PROCEDENCIA: ARENA DE LAS CAÑAS

RELACION A/C : 0.33

ADITIVOS : 1.5 %

ADICIONES: 10.0 %

CILINDRO	DIAMETRO	ALTURA	AREA	VOLUMEN	PESO	PESO VOLUMETRICO	EDAD	CARGA ULTIMA	ESFUERZO ULTIMO
No	(cms)	(cms)	(cm2)	(cm3)	(Kgs)	(Kgs/m3)	(dias)	(Kgf)	(Kgf/cm2)
159	15.2	30.5	182.2	5547.2	12.7	2289.4		35000	192.1
162	15.3	30.5	182.9	5578.3	12.7	2273.1	7	37500	205.0
163	15.3	30.8	184.8	5686.8	13.0	2277.2		39750	215.1
165	15.4	30.5	186.3	5681.1	12.7	2230.2		63750	342.3
170	15.4	30.6	186.3	5699.7	12.5	2193.1	14	55250	296.6
171	15.2	30.5	181.5	5534.5	12.9	2325.4		60250	332.0
168	15.1	30.8	179.1	5515.6	12.7	2298.9		70250	392.3
164	15.4	30.5	186.3	5681.1	13.0	2279.5	43	83000	445.6
169	15.3	30.5	183.9	5607.5	12.8	2273.7		77000	418.8
172	15.3	30.6	183.9	5625.9	12.8	2269.8	60	75500	410.7
167	15.3	30.5	183.9	5607.5	12.9	2293.3		74000	402.5
176	15.3	30.1	183.9	5534.0	13.0	2345.5		76500	416.1
161	15.2	30.4	182.1	5534.5	13.0	2339.9		64500	354.3
175	15.3	30.4	182.7	5558.8	12.9	2315.3	90	68000	372.3
174	15.3	30.4	182.7	5558.8	12.7	2281.1		65000	355.9

20407

REVENIMIENTO: 4 cm. de revenimiento

ENSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA COMPRESION

MEZCLA : F

FECHA DE COLADO: 27/04/94

FECHA DE ENSAYO: 04/05/94 -13/05/94 -25/05/94

PROCEDECENCIA: ARENA DEL JIBOA

RELACION A/C : 0.32

ADITIVOS : 1.5 % SIXAMENT

ADICIONES: 0.0

CILINDRO	DIAMETRO	ALTURA	AREA	VOLUMEN	PESO	PESO VOLUMETRICO	EDAD	CARGA ULTIMA	ESFUERZO ULTIMO
No	(cms)	(cms)	(cm ²)	(cm ³)	(Kgs)	(Kgs/m ³)	(dias)	(Kgf)	(Kgf/cm ²)
15	15.20	30.60	181.46	5552.63	12.2	2190.0		69500.00	383.0
23	15.70	30.20	193.59	5846.50	14.0	2387.8	7	71500.00	369.3
31	15.40	30.50	186.27	5681.08	13.2	2316.5		72250.00	387.9
16	15.30	30.50	183.85	5607.54	13.1	2330.6		90250.00	490.9
17	15.30	30.60	183.85	5625.93	13.2	2338.5	14	97500.00	530.3
18	15.20	30.60	181.46	5552.63	13.1	2353.5		94500.00	520.8
19	15.38	30.13	185.66	5594.58	13.3	2374.3		101500.00	546.7
20	15.15	30.43	180.27	5486.11	13.9	2537.5	28	90250.00	500.6
21	15.28	30.47	183.25	5583.12	13.2	2358.7		98500.00	537.5
7	15.2	30.8	181.46	5588.92	13.1	2348.4		115000	633.8
8	15.2	30.4	181.46	5516.34	12.9	2338.5	60	101000	556.6
9	15.3	30.7	183.85	5644.31	13.2	2334.2		81000	440.6

380.07

OBSERVACIONES: revenimiento 14 cm.

ENSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA COMPRESION

MEZCLA : G

FECHA DE COLADO: 28/04/94

FECHA DE ENSAYO: 05/05/94 - 14/05/94 - 26/05/94

PROCEDENCIA: ARENA DEL JIBOA

RELACION A/C : 0.33

ADITIVOS : 1.5 % SIKAMENT

ADICIONES: 10.0 % MICROSILICA

CILINDRO	DIAMETR	ALTURA	AREA	VOLUMEN	PESO	PESO	EDAD	CARGA	ESFUERZO
No	(cms)	(cms)	(cm2)	(cm3)	(Kgs)	VOLUMETRICO (Kgs)	(dias)	ULTIMA (Kgf)	ULTIMO (Kgf/cm2)
44	15.33	30.60	184.58	5648.01	12.160	2153.0		69500	376.5
46	15.20	30.20	181.46	5480.04	13.960	2547.4	7	71500	394.0
47	15.23	30.50	182.18	5556.35	13.160	2368.5		72250	396.6
43	15.38	30.63	185.66	5687.41	13.144	2311.1		67500	363.6
45	15.23	30.37	182.06	5528.43	12.959	2344.1	14	74750	410.6
48	15.27	30.80	183.05	5638.05	13.216	2344.1		40000	218.5
49	15.18	30.40	180.86	5498.20	12.910	2348.0		102500	566.7
50	15.18	30.60	180.86	5534.38	13.040	2356.2	28	101000	558.4
51	15.20	30.43	181.46	5522.38	12.948	2344.6		86500	476.7
52	15.2	30.6	181.46	5552.63	12.9	2324.1		92800	511.4
53	15.2	30.6	181.46	5552.63	12.9	2329.5	60	90050	496.3
54	15.2	30.6	181.46	5552.63	13.1	2350.2		99750	549.7

28 a p 3

OBSERVACIONES: revenimiento 10 cm.

ENSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA COMPRESION

MEZCLA : H

FECHA DE COLADO: 29/04/94

FECHA DE ENSAYO: 06/05/94 - 15/05/94 - 27/05/94

PROCEDENCIA: ARENA DEL JIBOA

RELACION A/C : 0.31

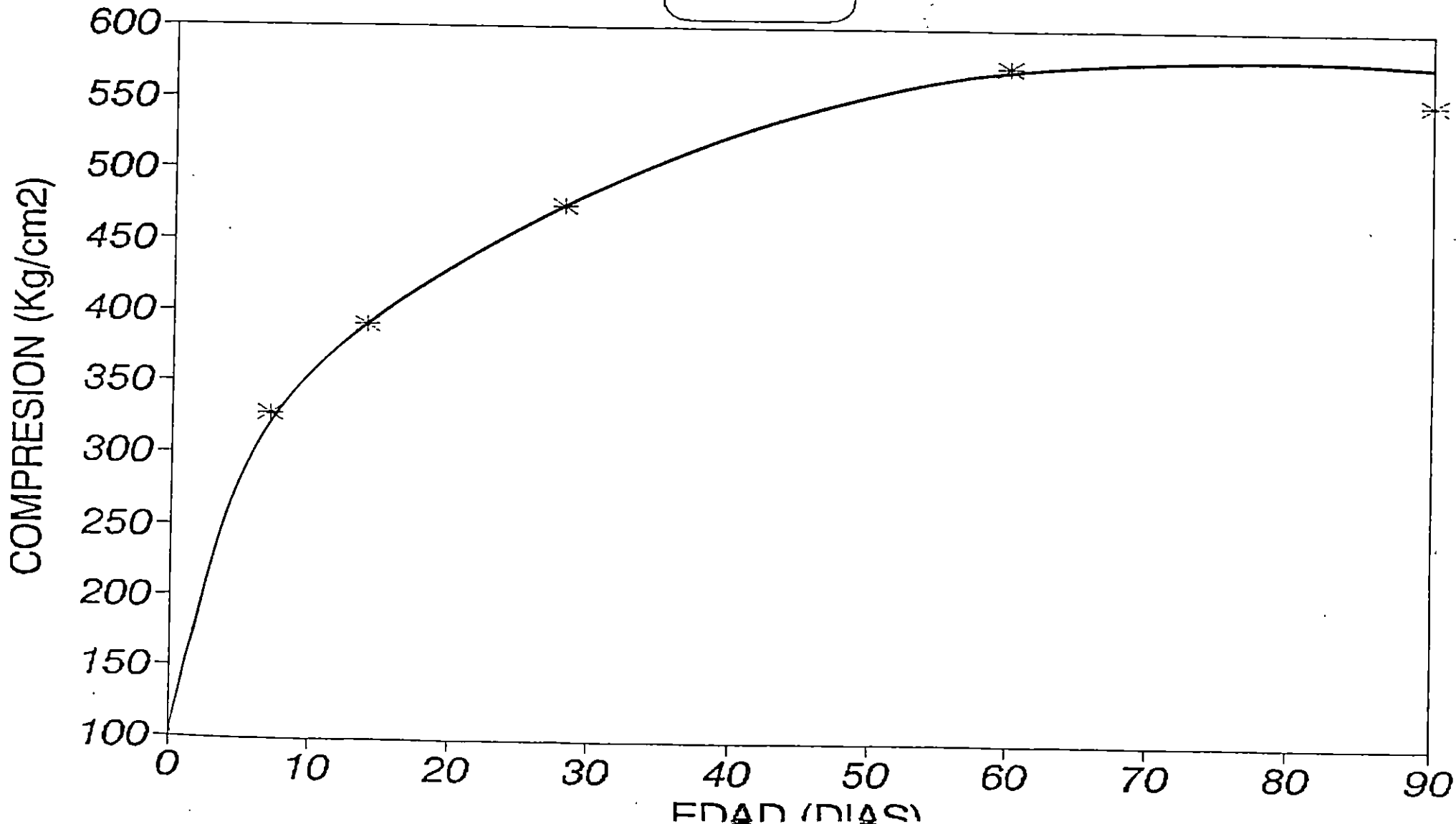
ADITIVOS : 1.5 % SIKAMENT

ADICIONES: 5.0 % MICROSILICA

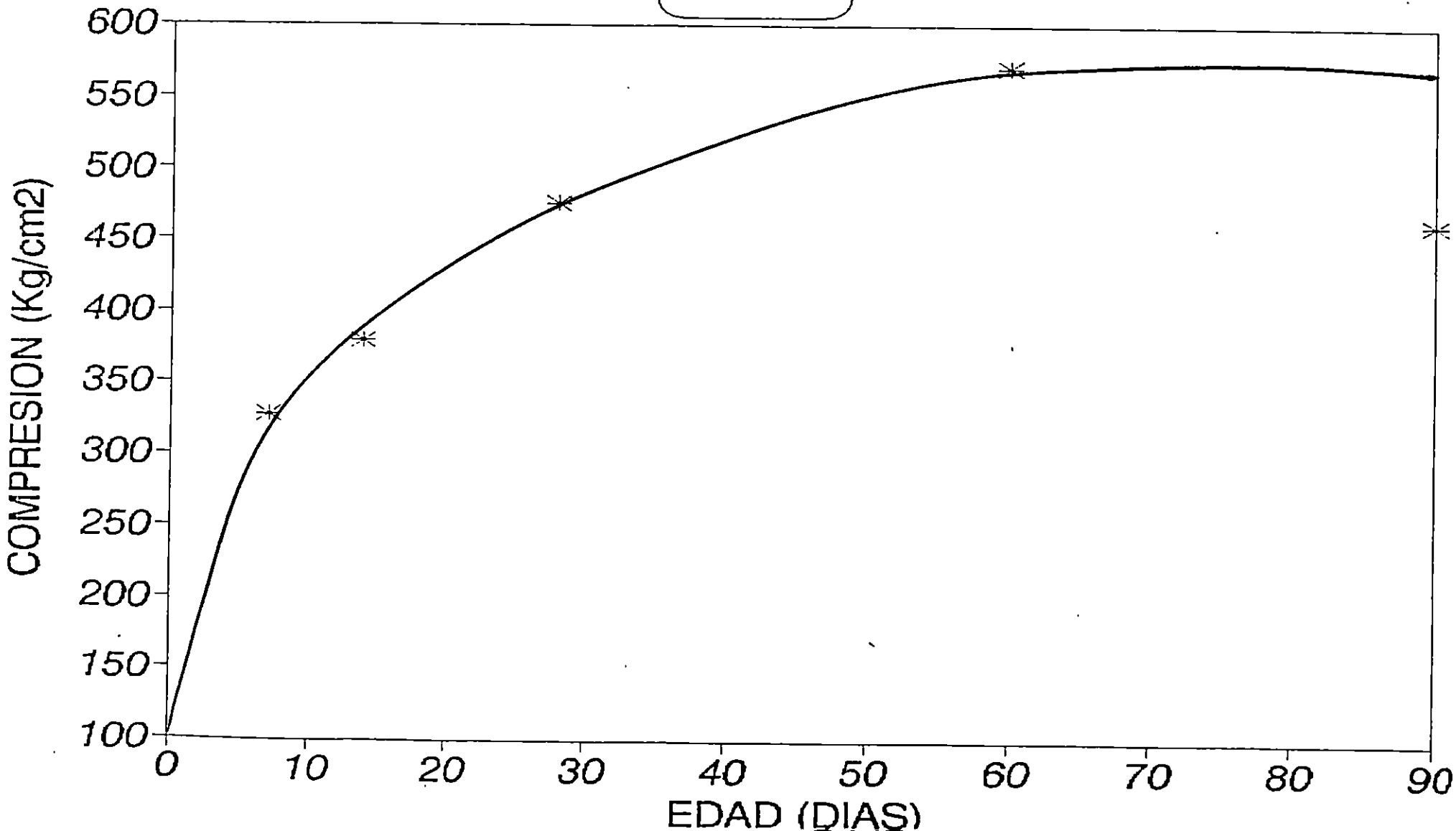
CILINDRO	DIAMETRO	ALTURA	AREA	VOLUMEN	PESO	PESO VOLUMETRICO	EDAD	CARGA ULTIMA	ESFUERZO ULTIMO	REVENIMIENTO
No	(cms)	(cms)	(cm ²)	(cm ³)	(Kgs)	(Kgs/m ³)	(dias)	(Kgf)	(Kgf/cm ²)	(cm)
87	15.20	30.40	181.46	5516.34	12.969	2351.0		62750	345.8	7
89	15.40	30.60	186.27	5699.71	13.244	2323.6	7	75250	404.0	37107
90	15.35	30.45	185.06	5635.00	13.123	2328.8		67250	363.4	
68	15.25	30.80	182.65	5625.75	13.200	2346.4		49500	271.0	
69	15.18	30.50	180.86	5516.29	12.944	2346.5	14	87500	483.8	
70	15.33	30.57	184.46	5638.18	13.085	2320.8		84250	456.8	
71	15.30	30.43	183.85	5595.29	13.038	2330.2		83000	451.4	
72	15.18	30.43	180.86	5504.23	12.953	2353.3	28	72250	399.5	
73	15.20	30.57	181.46	5546.58	13.000	2343.8		79500	438.1	
74	15.4	30.5	186.27	5681.08	13.0	2289.2		87000	467.1	
75	15.7	30.5	193.59	5904.58	13.7	2325.3	60	86500	446.8	
76	15.3	30.6	183.85	5625.93	12.4	2202.3		90750	493.6	

OBSERVACIONES: revenimiento 7 cm.

MEZCLA
A

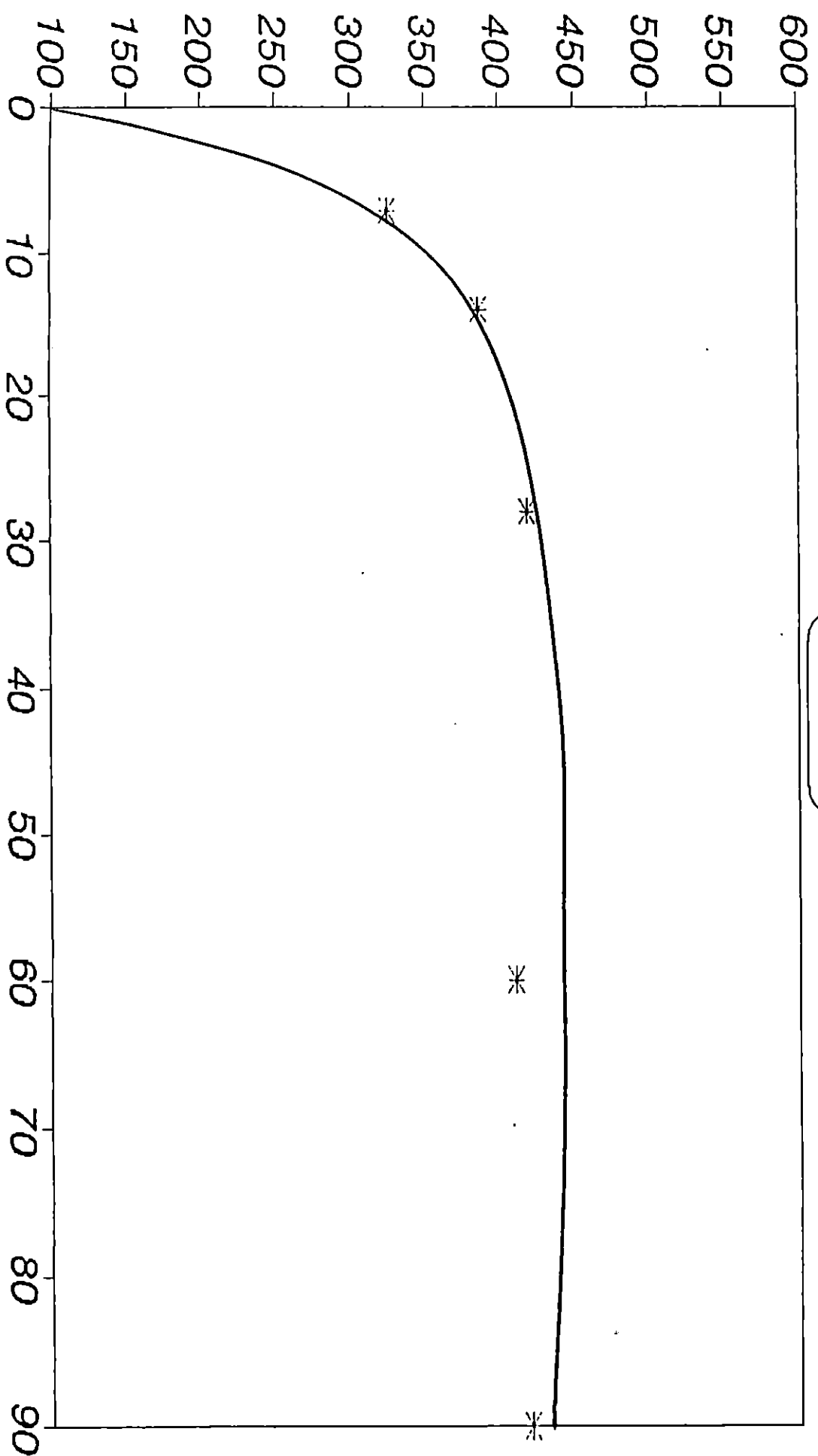


*MEZCLA
B*

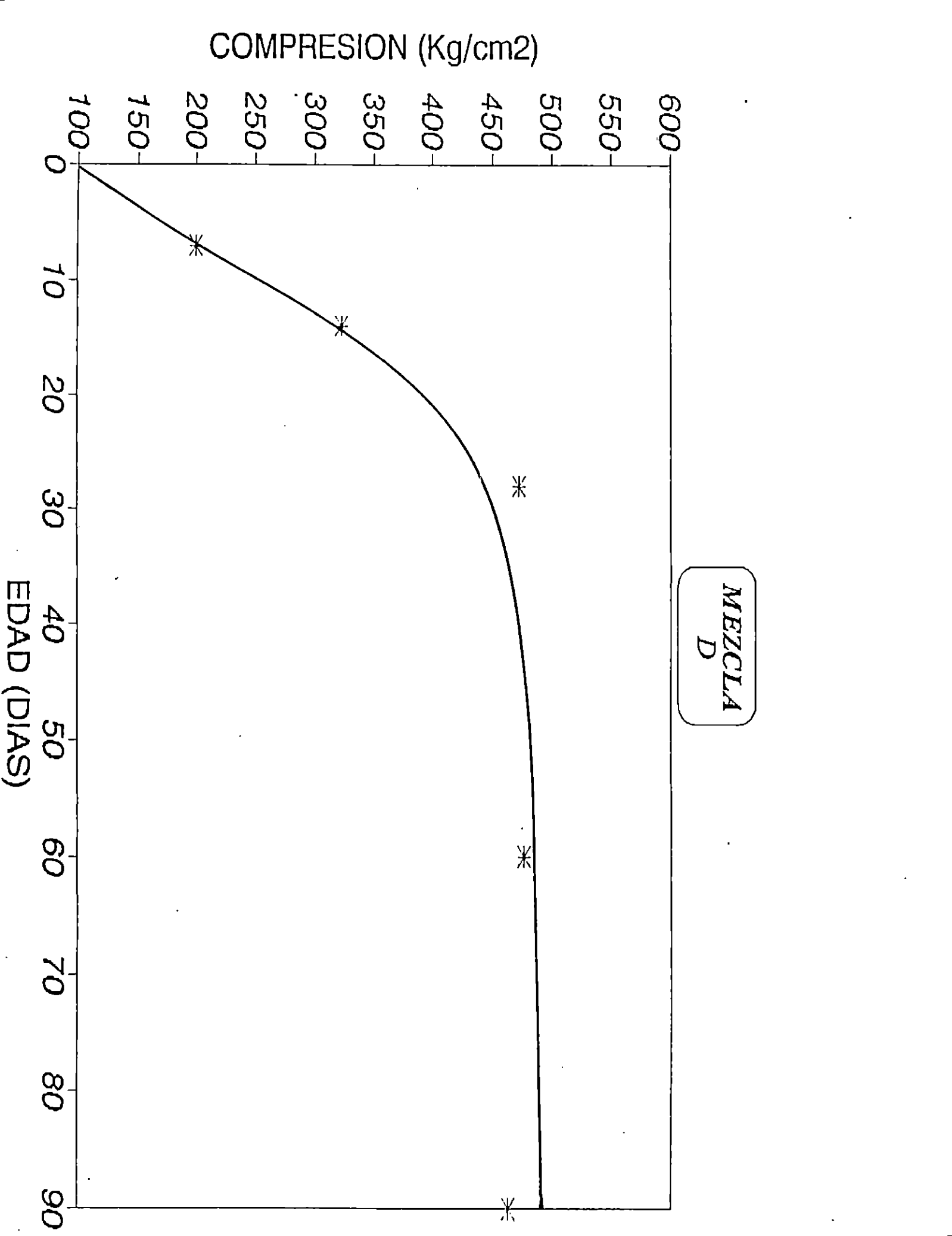


COMPRESION (Kg/cm2)

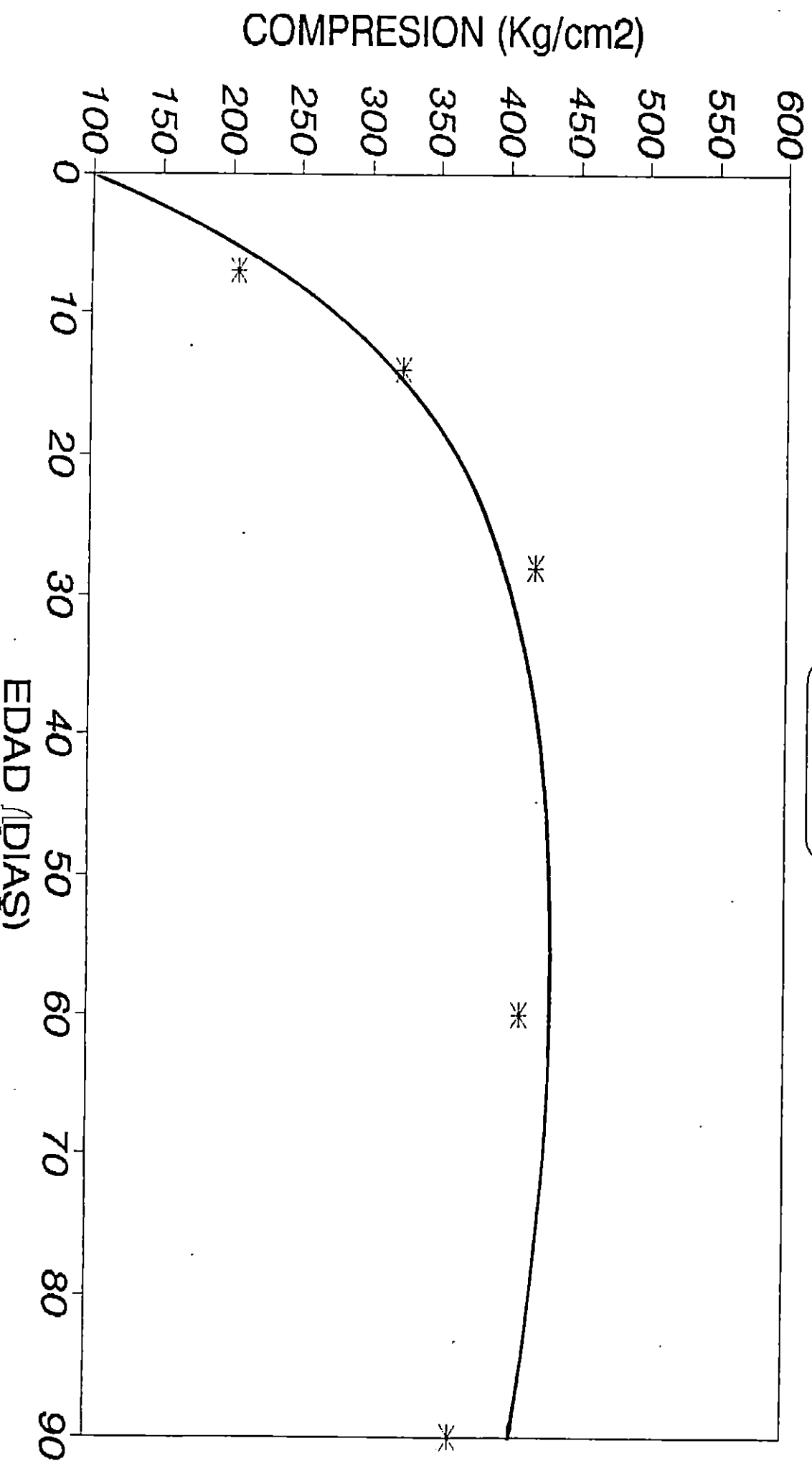
MEZCLA
C



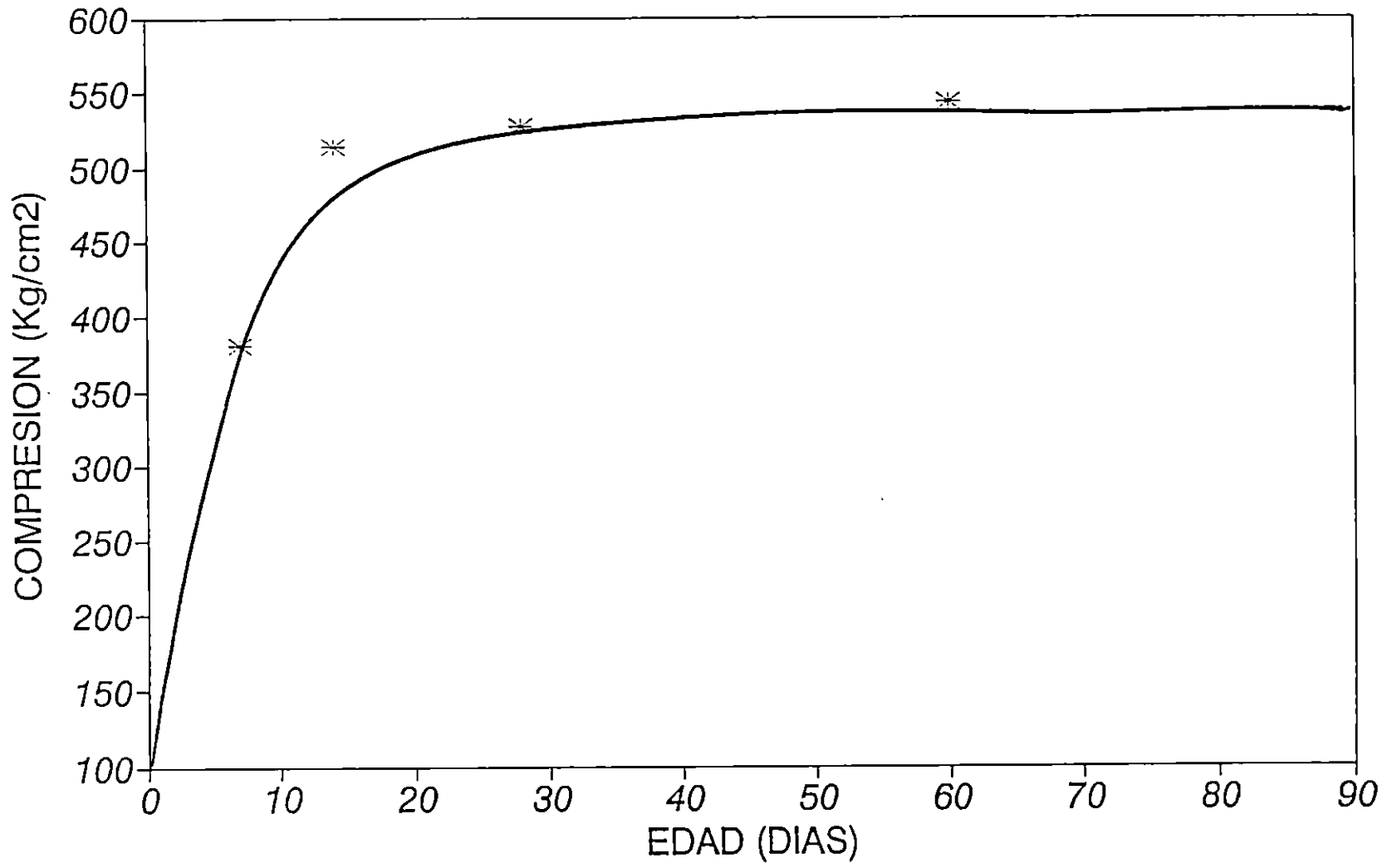
EDAD (DIAS)



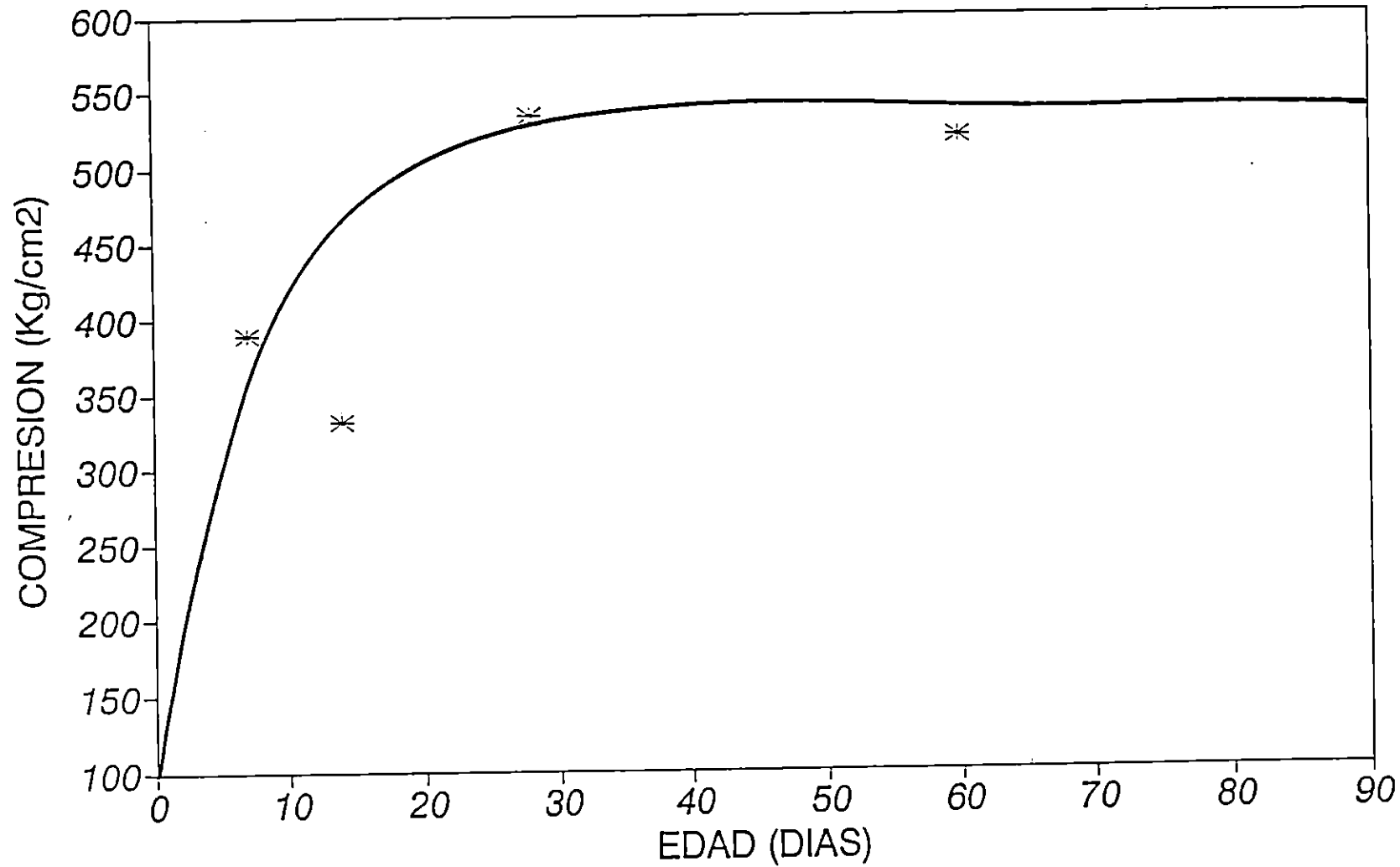
**MEZCLA
E**



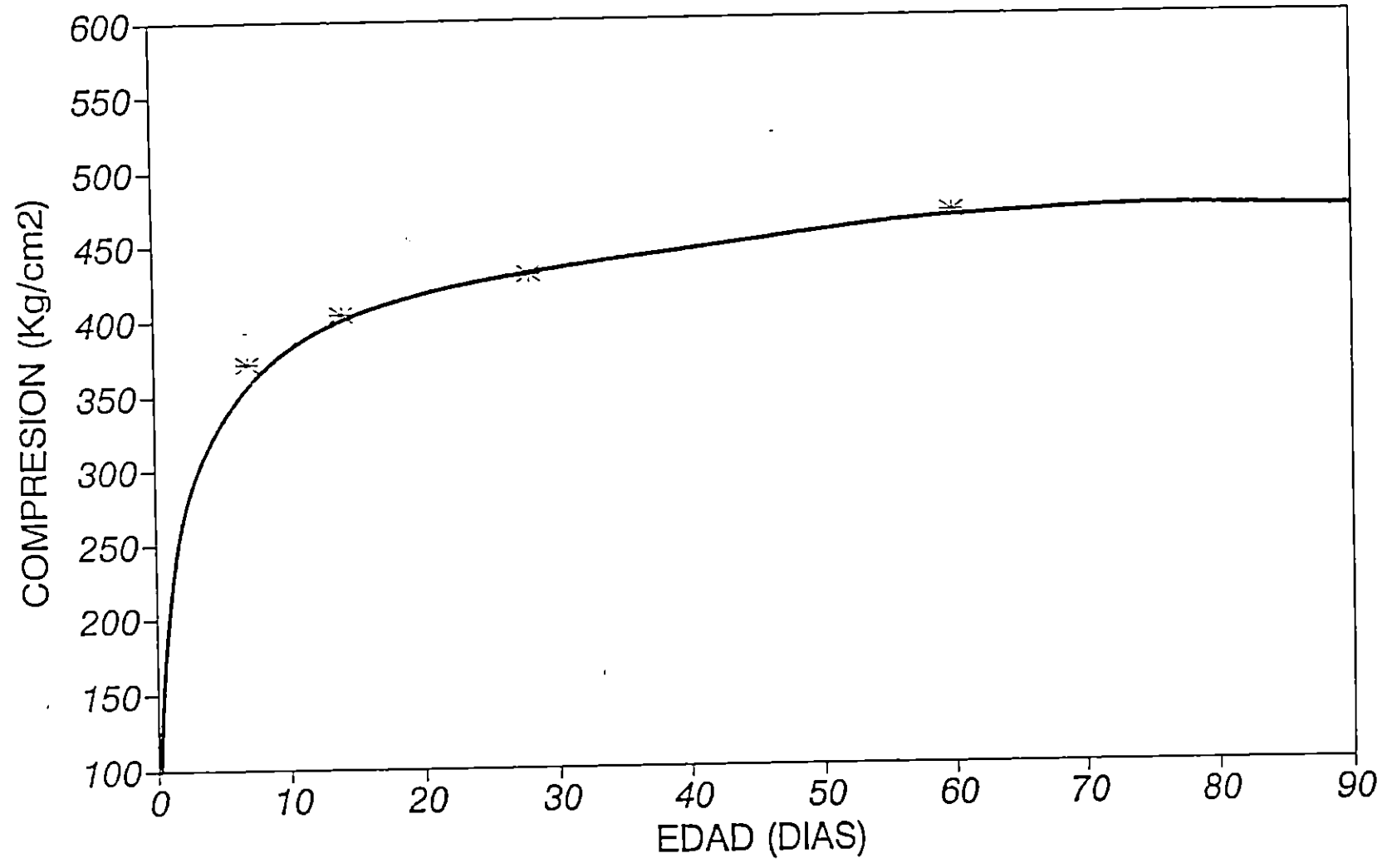
MEZCLA
F



MEZCLA
G



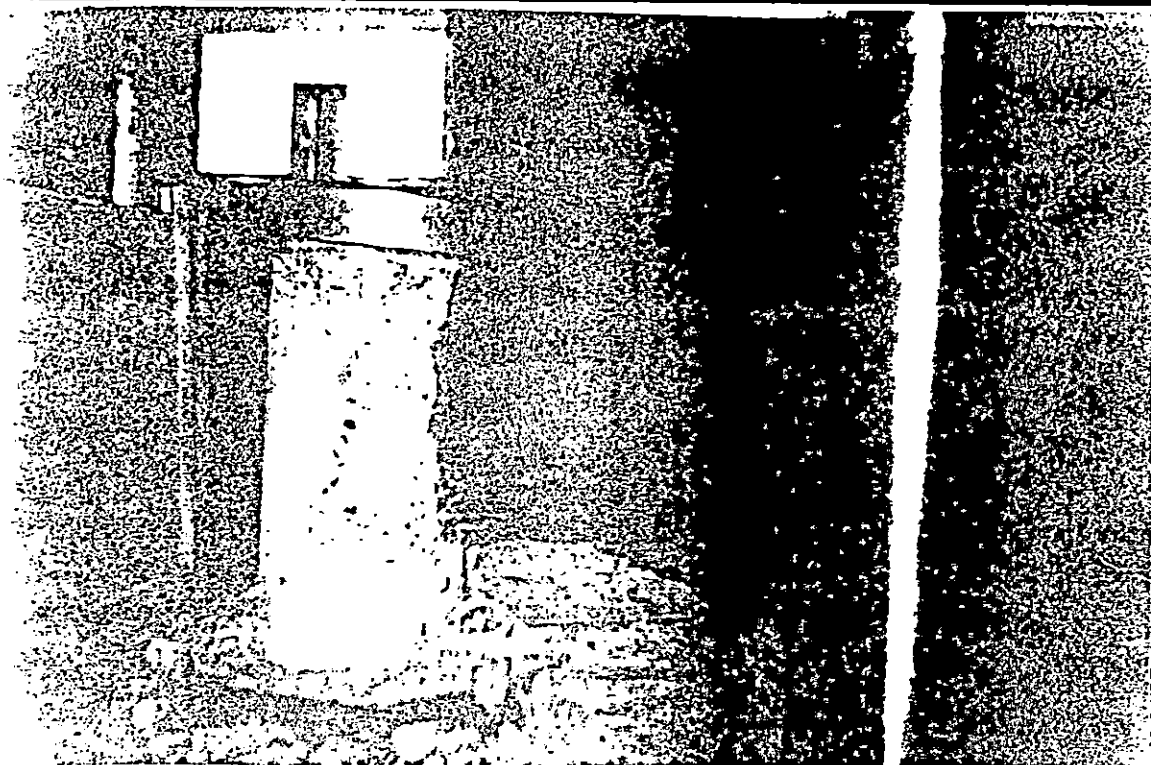
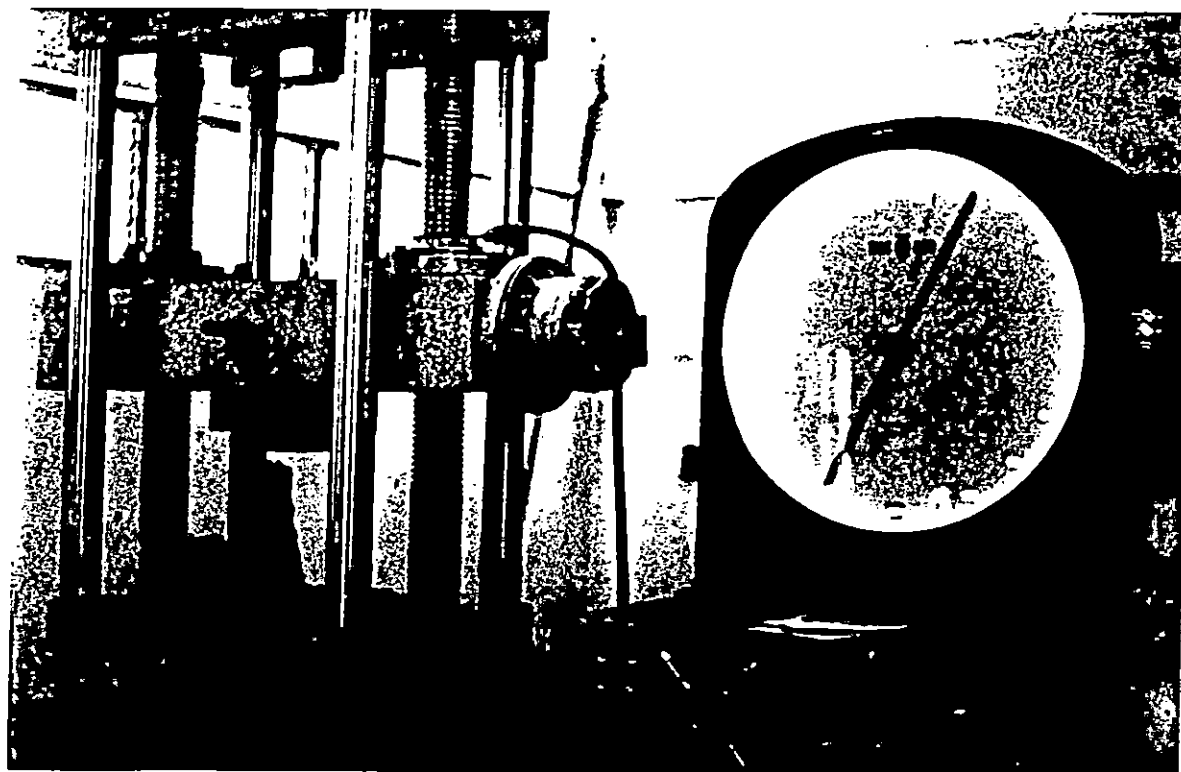
*MEZCLA
H*



ENSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA TENSIÓN

MEZCLA	CILINDRO		ALTURA (cms)	AREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	PESO (Kgs)	PESO VOLUMETRICO (Kgs/m ³)	EDAD (dias)	CARGA ULTIMA (Kg)	ESFUERZO ULTIMO (Kg/cm ²)
	No	DIAMETRO (cms)								
A	14	15.30	30.50	183.85	5607.54	12.84	2289.4	90	36550	49.9
	36	15.60	30.50	191.13	5829.60	13.56	2326.4	90	31500	42.1
	44	15.60	30.50	191.13	5829.60	13.44	2305.6	90	35450	47.4
	58	15.10	30.50	179.08	5461.90	12.50	2288.6	90	30500	42.2
B	59	15.40	30.50	186.27	5681.08	12.80	2253.1	90	31500	42.7
	60	15.30	30.50	183.85	5607.54	12.70	2264.8	90	32750	44.7
	14	15.30	30.50	183.85	5607.54	12.838	2289.42	90	36550	49.9
C	36	15.60	30.50	191.13	5829.60	13.562	2326.40	90	31500	42.1
	44	15.60	30.50	191.13	5829.60	13.441	2305.65	90	35450	47.4
	111	15.25	30.50	182.65	5570.95	12.473	2238.9	60	34100	46.67
D	112	15.25	30.40	182.65	5552.69	12.421	2236.9	60	33300	45.73
	113	15.23	30.10	182.18	5483.48	12.414	2263.9	60	33000	45.83
E	166	15.30	30.50	183.85	5607.54	12.838	2289.42	90	36550	49.86
	173	15.60	30.50	191.13	5829.60	13.562	2326.40	90	35000	46.83
	177	15.60	30.50	191.13	5829.60	13.441	2305.65	90	35450	47.43

DONDE: $ESFUERZO \ A \ LA \ TENSIÓN \ (T) = 2 \cdot P / L \cdot D \cdot \pi$



LAS FOTOS MUESTRAN EL EFECTO DE LA PRUEBA A COMPRESION UNIAXIAL EN CILINDROS DE PRUEBA DE 150mmX300mm, ASI COMO EL TIPO DE FALLA ORIGINADO.



LAS FOTOS MUESTRAN EL EFECTO DE LA PRUEBA A COMPRESION UNIAXIAL EN CILINDROS DE PRUEBA DE 150mmX300mm, ASI COMO EL TIPO DE FALLA ORIGINADO.

H solo se incluyen pruebas hasta los sesenta días debido a que las fechas correspondientes de ruptura de los cilindros a los 90 días están fuera de la fecha límite para la entrega de este documento.

En las páginas 207 y 208 pueden observarse fotografías de los ensayos a la compresión en algunos especímenes de concreto.

4.6.2 RESISTENCIA A LA TENSION INDIRECTA.

Se realizó ensaye a tres cilindros por cada mezcla de prueba, a la edad de 90 días, utilizando la prueba brasileña (ASTM C-496). Para el cabeceo longitudinal de las muestras se utilizó bandas de material elástico del tipo "neopreno" de 3/16 " de espesor, debido a la imposibilidad de realizar otro tipo de cabeceo.

Las pruebas se realizaron a los 90 días con la finalidad de que las reacciones puzolánicas en la microsílca estuviesen completas en un alto porcentaje⁶¹, y que la ganancia de resistencia debido a este fenómeno, pueda reflejarse en los resultados de este ensayo.(ver tablas pág. 206)

⁶¹ Ver Capitulo III, pág. 112 - 113 de este documento.

4.6.3 ENSAYO DE DURABILIDAD.

La durabilidad es la habilidad que tiene el concreto endurecido de resistir el ataque del clima, el ataque químico, la abrasión y otras condiciones de servicio. En este estudio se realizó la prueba de someter el concreto endurecido al ataque químico por ácidos, como una forma de evaluar la durabilidad en el concreto. El ácido seleccionado para este ensayo fue el ácido sulfúrico, debido a que es altamente agresivo contra los concretos. Esta prueba se realizó en cilindros de 100 mm x 200 mm. que fueron sometidos a doce (12) ciclos de prueba.

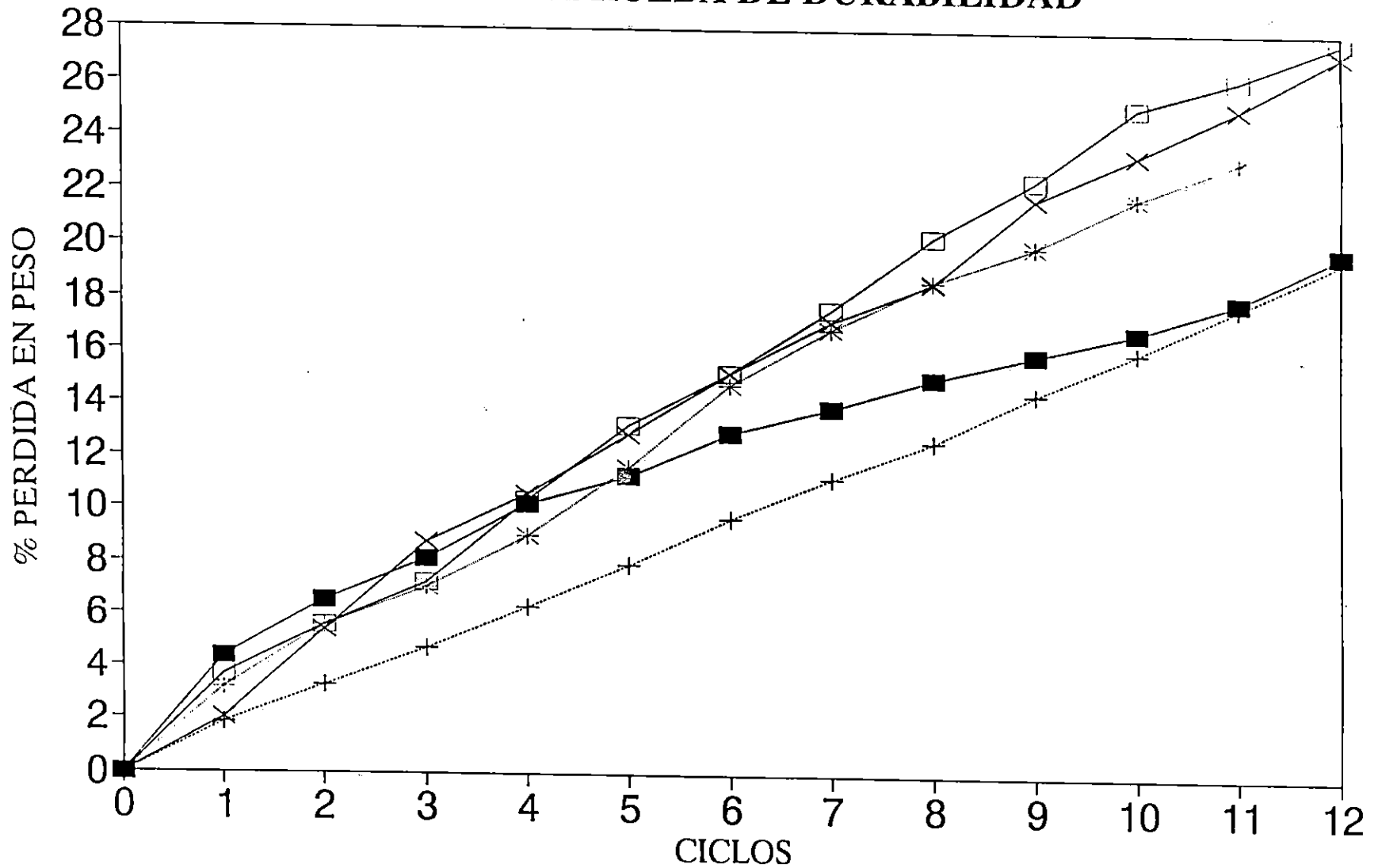
El ciclo consistió en sumergir los cilindros durante 24 ± 0.5 horas en una solución de ácido sulfúrico de 9 partes de agua por 1 de ácido y luego se sometieron a un secado al aire libre durante 24 horas, o hasta lograr peso constante.

Después de secos los cilindros se rasparon con cepillos de alambre, para eliminar la pasta deteriorada por la acción química del ácido en el cemento hidratado presente en la matriz expuesta a la solución. Después se estableció la pérdida acumulada del peso de las muestras por cada ciclo, expresándola como porcentaje respecto al peso inicial en cada cilindro antes de ser sometido a la prueba. El ensayo se inició a la edad de 60 días en las mezclas A, B, C, D, y E, quedando pendientes las pruebas en las mezclas F, G y H.

La tabulación y el gráfico de los ciclos contra la pérdida de peso se encuentra en las tablas y su respectivo gráfico en las páginas 212-213. Las fotografías de las págs. 214 y 215, ilustran la prueba.

Los análisis de los resultados obtenidos de las diferentes pruebas realizadas en este capítulo, tanto a los materiales como al concreto (fresco y endurecido) serán tratados en el capítulo V, así como las conclusiones y recomendaciones de toda esta investigación

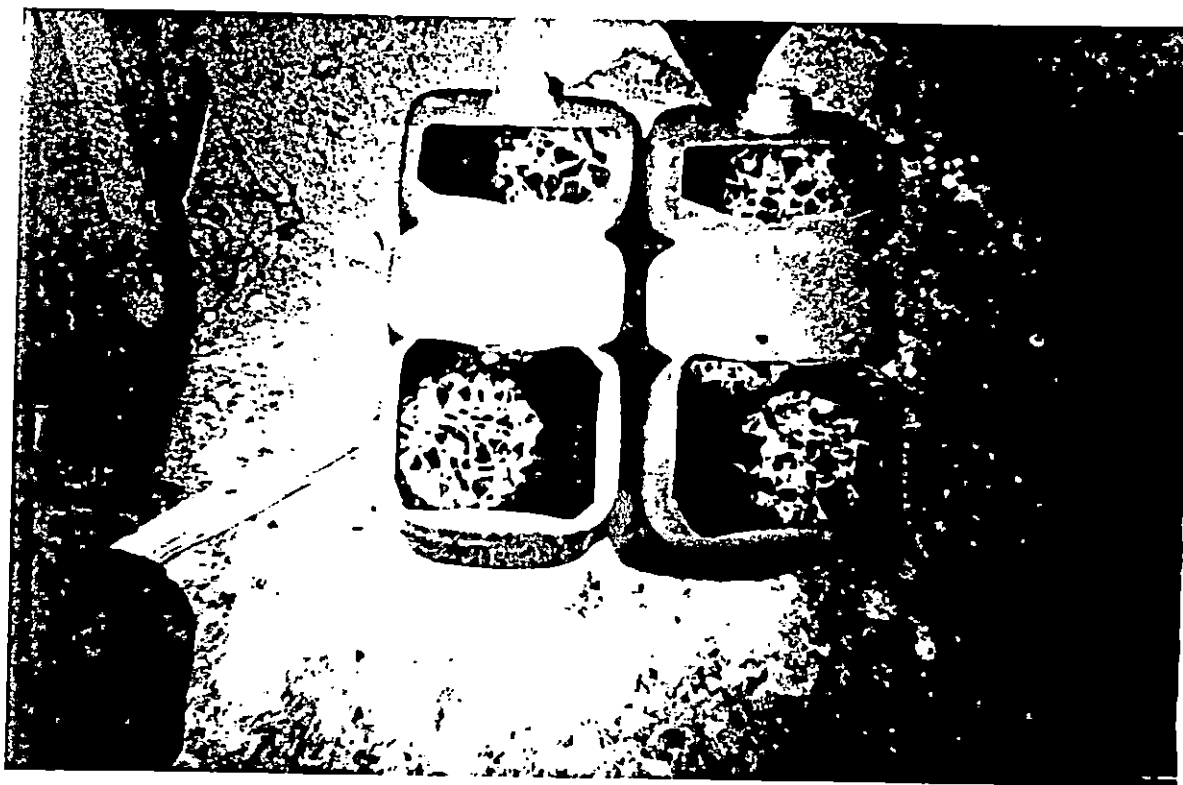
GRAFICA DE PRUEBA DE DURABILIDAD



■ MEZCLA A + MEZCLA B * MEZCLA C
□ MEZCLA D × MEZCLA E

PERDIDA PORCENTUAL EN PESO POR CICLOS

MEZCLA	CICLOS												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	0.00	4.23	6.30	8.02	9.79	10.90	12.52	13.09	14.47	15.50	16.58	17.74	19.56
	0.00	4.59	6.66	8.43	10.37	11.40	13.29	14.39	15.11	15.97	17.15	18.47	20.41
	0.00	4.21	6.50	7.88	10.19	11.28	12.80	13.93	15.24	16.17	16.59	17.77	19.45
A PROM.	0.00	4.35	6.49	8.11	10.12	11.19	12.87	13.81	14.94	15.88	16.77	18	19.81
B	0.00	1.64	2.67	4.34	5.82	7.44	9.20	10.67	12.54	14.31	16.00	17.74	19.66
	0.00	1.32	3.23	4.24	5.91	7.57	9.38	10.95	12.20	13.97	15.56	17.32	19.01
	0.00	2.60	3.89	5.48	7.06	8.67	10.27	11.85	12.93	14.85	16.43	18.21	19.91
B PROM.	0.00	1.86	3.27	4.69	6.26	7.89	9.62	11.16	12.56	14.37	16	17.76	19.53
C	0.00	3.22	5.62	7.15	9.09	10.83	14.76	16.80	18.77	20.05	22.04	23.39	25.18
	0.00	3.10	5.56	6.99	8.79	12.02	14.89	16.94	18.58	19.93	21.80	23.34	25.08
	0.00	3.13	5.44	6.95	8.92	11.82	14.33	16.77	18.67	19.90	21.44	22.82	24.33
C PROM.	0.00	3.15	5.54	7.03	8.93	11.55	14.66	16.84	18.67	19.96	21.76	23.18	24.87
D	0.00	3.55	5.44	6.95	9.42	12.22	14.56	17.08	21.09	23.05	24.97	26.83	28.02
	0.00	3.76	5.64	7.32	10.86	13.62	14.77	17.36	20.92	23.07	24.91	27.01	28.47
	0.00	3.61	5.58	7.23	10.71	13.52	15.99	18.37	18.97	21.07	25.44	24.73	26.38
D PROM	0.00	3.64	5.56	7.17	10.33	13.12	15.11	17.6	20.33	22.4	25.11	26.19	27.62
E	0.00	0.30	3.73	7.04	9.64	11.86	14.13	16.20	18.52	20.79	22.40	24.37	26.39
	0.00	2.08	5.31	8.84	10.26	12.57	14.74	16.75	19.02	21.33	23.08	25.43	27.41
	0.00	3.59	7.06	10.31	11.63	14.08	16.51	18.47	18.27	23.05	24.62	25.63	27.64
E PROM	0.00	1.99	5.37	8.73	10.51	12.83	15.13	17.14	18.6	21.72	23.37	25.14	27.15



MUESTRA LOS CILINDROS 100mmX200mm SOMETIDOS
AL CICLO DE INMERSION EN ACIDO SULFURICO



LA FOTO PRESENTA LOS CILINDROS
SOMETIDOS AL PROCESO DE SECADO AL AIRE

CAPITULO V

ANALISIS DE RESULTADOS

Debido a que la experiencia de laboratorio para este tipo de concretos es la primera realizada en El Salvador, los resultados obtenidos deberán ser evaluados como preliminares, y deben ser comprobados con estudios más extensivos y específicos.

En las pruebas de laboratorio se evaluaron las propiedades básicas para la elaboración de mezclas de concreto según el método ACI 211.1-81.

5.1 COMPONENTES.

En base a los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio a los componentes para la elaboración de las mezclas de Concreto de Gran Comportamiento se concluye:

5.1.1 AGREGADOS FINOS.

La arena proveniente del río Las Cañas presentó una granulometría fuera de norma (ASTM C-33), con un alto porcentaje de partículas gruesas, en los tamaños retenidos en la malla n° 4 (ver gráficos 4.2 en págs. 141 - 143), por lo que se tamizó posteriormente utilizando la malla n° 4, para corregir su curva granulométrica.

Al realizar la granulometría a la arena tamizada; de la curva granulométrica corregida se determinó que su módulo de finura (MF) era 2.50, lo que la clasifica como una arena de media a fina (ver tablas 4.3 en págs. 144 - 146).

La arena proveniente del río Jiboa, generó una curva granulométrica dentro de los límites establecidos en la norma ASTM C-136 y posee un Módulo de Finura (MF) de 2.77 lo que la clasifica como arena media. (ver tablas y gráficos 4.4 de págs. 147 - 149).

Las dos arenas presentaron colores menores al de rechazo en el ensaye de impurezas orgánicas. En la tabla 5.1 se observa la diferencia en algunas propiedades entre las arenas del río las Cañas y el río Jiboa.

Tabla 5.1

Arena	MF	Absorción (%)	G.e.	Peso Unitario (Kg/m³)
Las Cañas	2.50	7.92	2.31	1464.5
Jiboa	2.77	3.72	2.62	1582.2

a) De lo anterior se concluyó que la arena proveniente del río Las Cañas posee un alto contenido de partículas de peso ligero (piedra pómez), por esta característica no conveniente usarlo en los concretos en que se busquen altas resistencias, debido básicamente a las partículas ligeras, las cuales tienen una estructura porosa que genera mayor demanda de agua de mezcla debido a su alta absorción y bajas resistencias mecánicas, por lo que en el concreto endurecido estas partículas se comportan como zonas débiles de la matriz.

b) Los finos que provienen del río Jiboa, por tener un bajo porcentaje de partículas ligeras, posee un alto peso unitario, que genera concretos con pesos volumétricos mayores que el de los fabricados con arena del río las Cañas (Ver tabla 5.1 de la pág. 217).

Es de esperarse que bajo condiciones similares de proporcionamiento de materiales y relación $a/(c+p)$, se logren mayores resistencias con la arena del río Jiboa. Por esta razón debe preferirse arenas con características físicas similares a las del río Jiboa, sobre todo agregado fino que esté libre de partículas ligeras (piedra pómez).

5.1.2 AGREGADO GRUESO.

El agregado grueso es una grava de origen basáltico con una gran cantidad de tamaños que pasan la malla No 4, con un tamaño máximo del agregado recomendado para este tipo de concreto igual a 19 mm. (ver cap. III pág.105), con una deficiencia de partículas gruesas y con una gran cantidad de partículas finas: polvo de roca, limos y arcillas.

Para la elaboración de las mezclas, se optó por no corregir la deficiencia de partículas gruesas ya que se trató de investigar el comportamiento de este agregado en su estado natural.

El agregado se sometió a un proceso de lavado y secado posterior a

temperatura ambiente, para disminuir el contenido de material fino (limos y arcillas).

Este agregado posee las siguientes propiedades gravedad específica $(G_s)=2.64$, absorción $(\%ABS)= 2.36$, en la prueba de resistencia al desgaste en la máquina de los Angeles mostró un valor de 19.54% de desgaste promedio. En la prueba de durabilidad se notó que el ácido no daña al agregado.

De lo anterior se concluye que:

Debido al origen geológico del tipo de grava utilizado en las mezclas de prueba, esta presenta una buena resistencia mecánica⁶², además al realizar la prueba de durabilidad se notó que su resistencia al ataque de ácidos es muy buena, por lo que podría utilizarse satisfactoriamente en los ensayos de concretos que busquen mayores resistencias mecánicas que las obtenidas en esta investigación.

La deficiencias más importantes que presenta esta grava son:

a) Debido a la forma muy irregular de las partículas, se generan congestionamientos que restan mucha manejabilidad a la mezcla y una distribución no muy uniforme en la matriz del concreto endurecido según se detectó en las zonas de falla en los especímenes ensayados a compresión.

⁶² Ensayo al desgaste C-131, capítulo IV de este documento, pág. 168.

b) Es recomendable que la cantidad de finos plásticos (arcillas) adheridos a la superficie de la grava, sea retirada utilizando procesos de lavado antes de mezclar el concreto, pues de utilizarse la



grava en la condición que se

Fig 5.1 En la fotografía puede observarse la distribución del agregado grueso en la matriz del concreto

despacha desde la cantera puede reducir la resistencia del concreto en forma apreciable.

Estas deficiencias son debidas al proceso de extracción, trituración y manejo utilizados en la cantera.

5.1.3 ADITIVOS.

Los aditivos ensayados fueron la microsíllica suministrada por "Sika" con el nombre comercial de "Sika fume", y el superplastificante denominado "Sikament", que es producto de la misma empresa (Sika). Los valores obtenidos

de las pruebas correspondientes a estos componentes fueron:

a) El porcentaje en peso de los sólidos disueltos en el superplastificante fue de 15.5% (ver tabla 4.15, de la pág. 169)

b) La microsílca posee una gravedad específica de 2.23 (ver tabla 4.16 de la pág. 170)

Los valores de gravedad específica de la MS y el % de sólidos presente en el superplastificante, influyen en la determinación de los volúmenes a incorporar de cada uno de estos a la mezcla. (ver hojas de diseño de mezcla en págs. 173 - 184)

5.2. MEZCLAS DE PRUEBA.

Mezclados los componentes descritos en los numerales anteriores y realizando las mezclas se observaron comportamientos diferentes a los del Concreto de Resistencia Normal (CRN), por lo que la observación en esta investigación se convirtió en un instrumento muy útil. Estos comportamientos generaron análisis que se reportan en dos grupos:

5.2.1 Concreto fresco

5.2.3 Concreto Endurecido

5.2.1. CONCRETO FRESCO.

Una de las características reológicas que más afecta las propiedades del concreto endurecido es **la manejabilidad** que pueda lograrse en la mezcla fresca, los factores que deben manejarse y controlarse son variados y se interrelacionan entre sí, en general puede notarse que:

- a) Utilizando superplastificante similar al tipo adicionado en las mezclas de prueba, la pérdida de asentamiento puede ser estimada en 30 minutos para temperaturas de $30^{\circ} \pm 4^{\circ}\text{C}$.
- b) Utilizar plastificante reduce de un 15 a un 25% el consumo de cemento (manteniendo la relación $a/(c+p)$ constante) en mezclas de asentamientos similares.
- c) La segregación entre las mezclas con microsílica (MS) y las que llevan solo superplastificante, no presentan diferencias.
- d) El utilizar microsílica con relaciones $a/(c+p)$ menores a 0.33 y en proporciones en peso del 10% o menos, en mezclas de concreto estas generan serios problemas de manejabilidad, además presentan problemas de adherencia de pasta tanto en el equipo de mezclado, como en las herramientas utilizadas para su manejo y colocación, por lo que se tuvo que tener mayor cuidado para limpiar

el equipo.

e) Las mezclas con microsílca originaron asentamientos menores que la mezcla sin microsílca (ver tabla 4.17, pág. 185).

Las mezclas con microsílca presenta una apariencia de baja manejabilidad al colocarlo, pero al aplicársele energía dinámica (vibratoria) adquieren una mayor manejabilidad que los CRN bajo condiciones similares.

5.2.2 MANEJO Y COLOCACION.

a) Los tiempos de revoltura comparados al tiempo de revoltura en los Concretos de Resistencia normal (CRN), tuvieron que incrementarse en un 20% o más para lograr mezclas homogéneas cuando se utilizó microsílca.

b) Las velocidades de mezclado menores a la normal, necesitaron menor tiempo de revoltura para lograr mezclas homogéneas.

c) La plasticidad de este concreto, generó problemas para nivelar las superficies de los cilindros en los moldes, aunque dejar lisa la misma, fue más fácil que en los CRN.

5.2.3 CONTROL.

a) El asentamiento determinado con el cono de Abrams (ASTM C-134), no refleja muy bien su fluidez, pues concretos de resistencia normal con igual asentamiento, presentan menor fluidez que los CGC al aplicárseles energía dinámica por medio de un vibrador en la mezcla, por lo que sería conveniente realizar pruebas con aparatos como el consistómetro de Vebe, o la mesa de fluidez. y compararlas con mezclas de concretos de resistencia normal ensayadas con los mismos aparatos.

b) En las muestras de control (Cilindros), al consolidar el concreto según norma ASTM C-192 y C-31, debe preferirse el uso de vibrador al método de varillado, porque la consolidación con vibrador muestra menos colmenas y vacíos en la matriz de concreto endurecido, lo que nos lleva a concluir que estos concretos necesitan mayor energía de consolidación.

c) Es necesario el uso de piezas metálicas (placas) con superficies lisas y niveladas, para dar acabado a la cara superior del cilindro, dejándolas por lo menos hasta que se inicie el curado de los especímenes, para evitar la pérdida de agua de la mezcla y lograr superficies niveladas para el ensayo.

5.3 CONCRETO ENDURECIDO.

Entre los datos más revelantes, puede mencionarse:

a) El peso volumétrico del concreto fresco, es muy próximo al peso volumétrico seco; este valor se determinó promediando los datos individuales de las ocho mezclas resultando un peso volumétrico promedio de 2.2 Ton/m^3 . Este peso es superior a los CRN, por lo que se infiere que los CGC poseen una mayor densidad, logrando concretos menos permeables.

b) La velocidad de carga afecta de manera apreciable la resistencia y la forma de fractura que presenta el espécimen ensayado, la velocidad de carga con que se obtuvo rupturas que denotan mejor distribución de carga, fue la de 8 mm/seg . la cual puede compararse a los concretos normales que utilizan velocidades de 12 a 15 mm/seg .

c) El material de cabeceo debe ser de alta resistencia similar al establecido según norma ASTM C-617, debido a la demanda de carga a la que se ve sometido este material, con el objeto de evitar altas dispersiones producto de una mala distribución de carga originada por la falla del material de cabeceo en los ensayos a compresión, pues se determinó que el cabeceo de las probetas en estos concretos, tiene una fuerte incidencia en los resultados.

d) Otro factor importante que afecta la distribución de carga en los especímenes, es la falta de perpendicularidad del cabeceo con respecto al eje vertical de los cilindros, lo cual se deduce de las superficies de falla observadas en cilindros con

esta deficiencia, son índices de mala distribución de esfuerzos.

5.3.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION.

a) En los CGC las ganancias de resistencia con edades posteriores a los 28 días es notable, por lo que la resistencia final del concreto debería tomarse como la resistencia a los 90 días, o en su defecto a los 60 días, y no a los 28 como se acostumbra normalmente. Es decir que el ensaye a los 28 días debería ser una proyección de la resistencia que se espera a los 60 días.

Los factores de proyección de la resistencia final a los 60 y 90 días se detallan en la tabla 5.3, sin embargo no es recomendable utilizarlos para realizar proyecciones, el propósito de esta tabla es el poder observar el comportamiento y dispersión de los valores obtenidos en esta investigación.

Tabla 5.3

Edad de ruptura (días)	Factor de proyección a los 60 días	Factor de proyección a los 90 días
7	0.63 ± 0.40	0.69 ± 0.10
14	0.96 ± 0.35	1.05 ± 0.31
28	0.96 ± 0.16	1.05 ± 0.18
60	1.00	1.09 ± 0.18
90	---	1.00

b) La tabla 5.4, muestra las ganancias de resistencia de las distintas mezclas referente a la mezcla de control expresada como porcentaje y a las diferentes edades de ensayo.

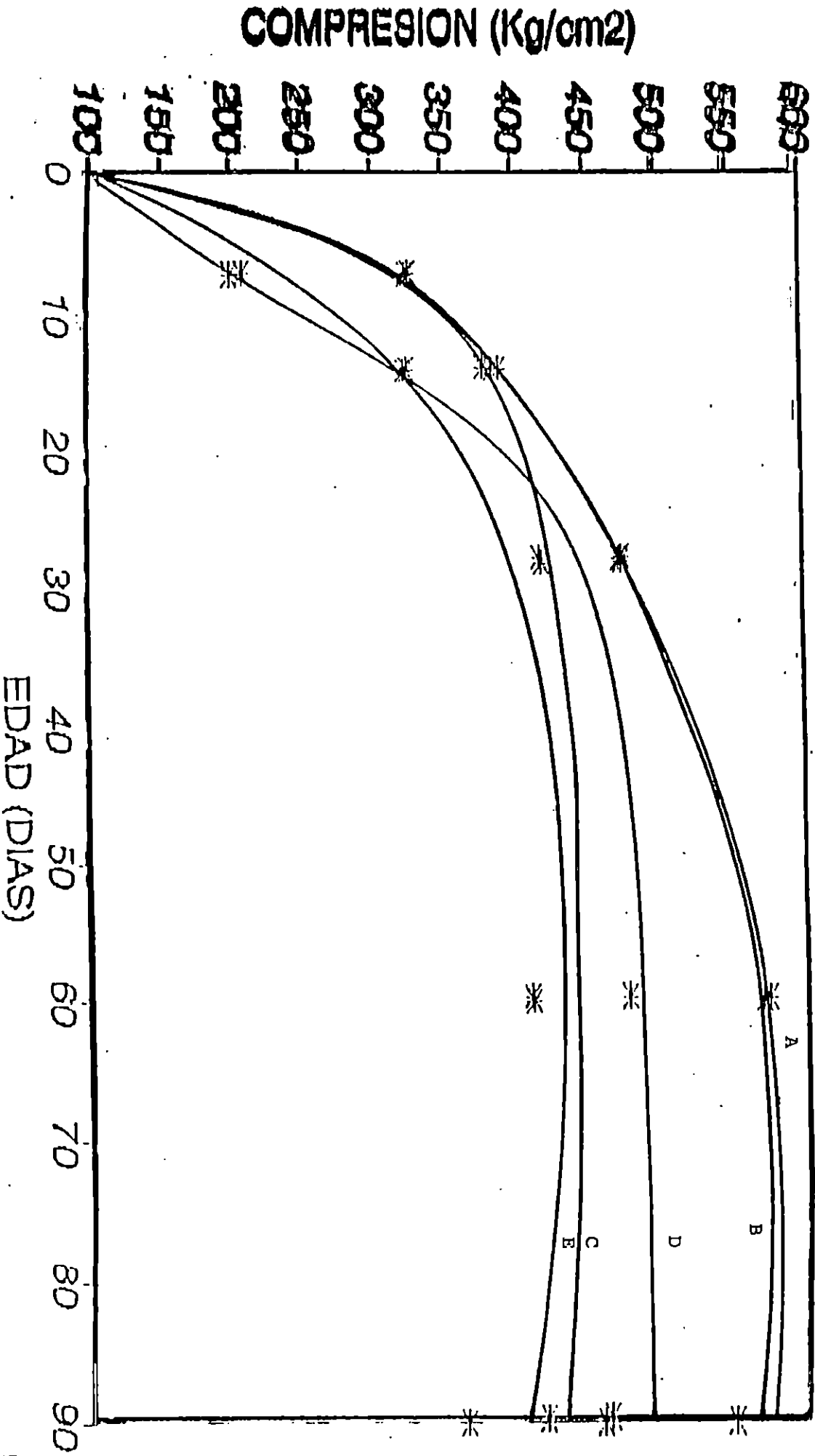
Tabla 5.4

Mezcla	Edad de prueba (días)				
	7	14	28	60	90
A	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
B	100.0	100.0	100.2	99.5	84.2
C	99.5	98.9	88.2	71.5	74.5
D	61.0	82.7	99.5	81.2	86.7
E	62.3	82.8	-	71.5	65.6
F	116.1	131.6	111.2	92.2	-
G	118.8	99.1	118.4	92.6	-
H	113.3	103.4	90.4	81.9	-

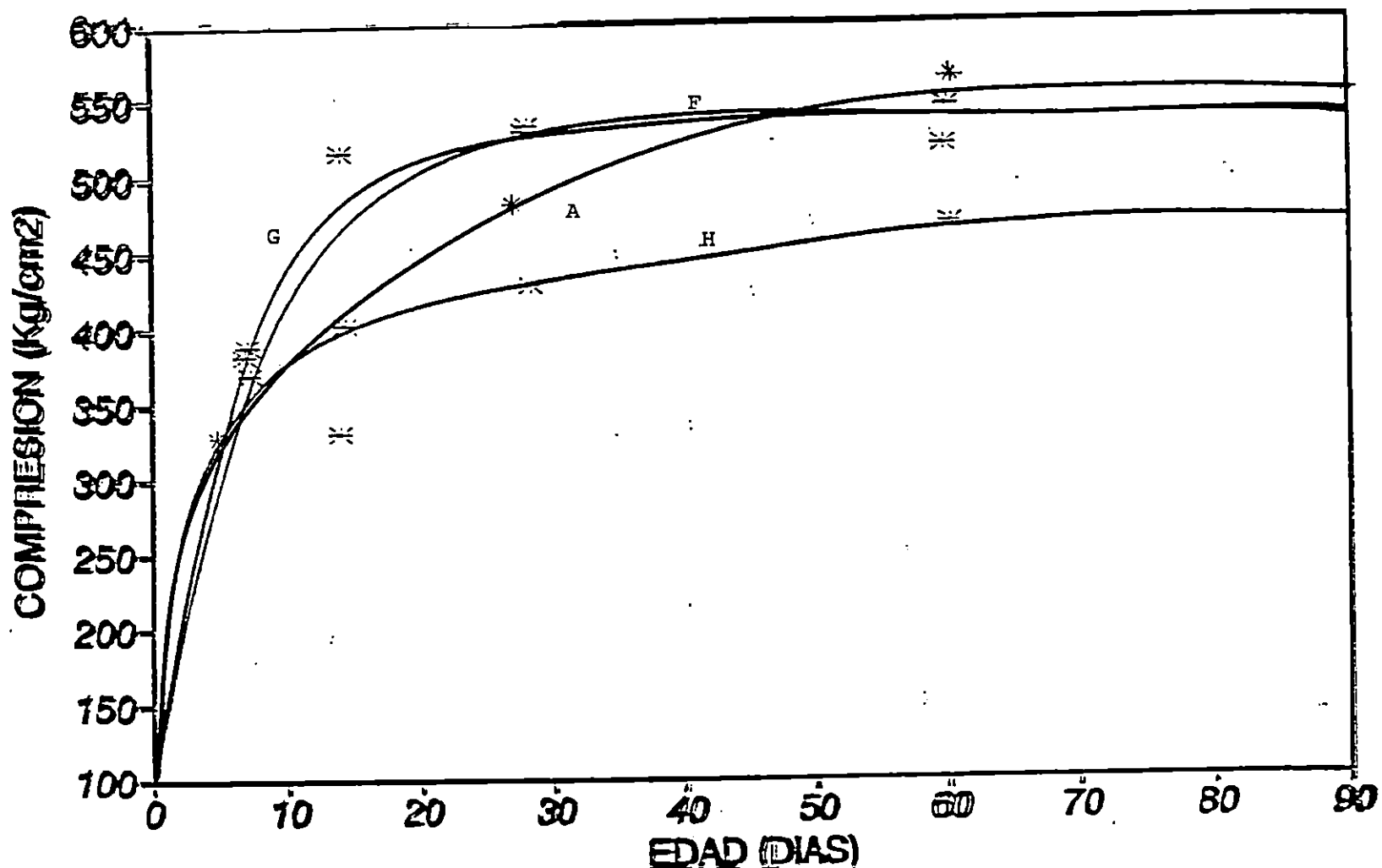
c) La microsilica no generó resistencias mayores que el concreto sin microsilica debido en parte a la consolidación defectuosa por la baja trabajabilidad que presentaron las mezclas con este aditivo. También otro factor que debe investigarse más a fondo con análisis químicos es de qué manera la puzolana adicionada al cemento nacional afecta las reacciones que existen entre los compuestos de hidróxido de calcio generado durante la hidratación del cemento y la microsilica.

d) Los gráficos 5.5 de las págs. 228 y 229, muestran el desarrollo de las curvas edad-resistencia promedio de las mezclas comparándola contra la mezcla de control "A". Al observarse estos gráficos puede notarse claramente, que las mezclas sin microsilica, son las que obtuvieron mayores resistencias.

MUECCELAS
ARENA DEL RIO LAS CAÑAS



MEZCLAS
ARENA DEL RIO JIBOLA



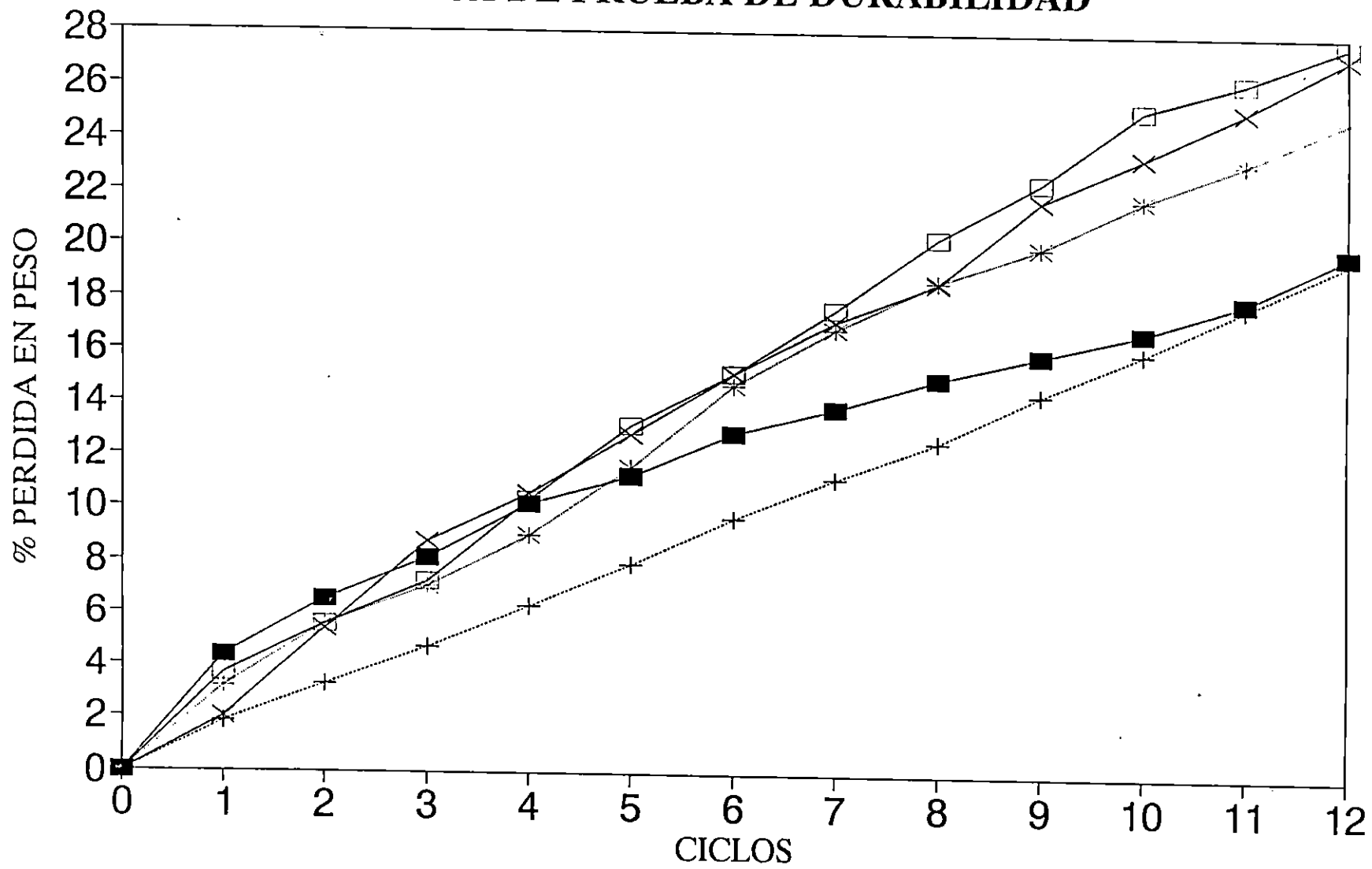
5.3.2 DURABILIDAD.

La pérdida en peso de las mezclas generó curvas que a partir del quinto ciclo, se convierten en rectas, esto indica una pérdida en peso aproximadamente constante lo que define una familia de curvas similares.

La que reportó menores pérdidas fue la mezcla con superplastificante (mezcla C), El gráfico 5.6 de la pág. 231, muestra los resultados de las cinco mezclas ensayadas. (A, B, C, D, y E). Del análisis de los resultados de esta prueba puede resaltarse:

- a) Sin una adecuada consolidación de las mezclas con microsílica, no puede esperarse las ventajas reportadas en investigaciones anteriores, realizadas en el extranjero.
- b) En el proceso del retiro de la pasta deteriorada, pudo observarse la formación de poros con diámetros menores a 1 mm. en las matrices de concreto, lo que disminuye la permeabilidad de los CGC, por esta razón estos concretos deben ser consolidados con sumo cuidado.
- c) El ácido ataca el cemento hidratado de la matriz generando yeso en polvo. Aunque en los agregados el ataque producido por los ácidos es muy reducido, debe recordarse que la pasta siempre será atacada y deteriorada.

GRAFICA DE PRUEBA DE DURABILIDAD



■ MEZCLA A + MEZCLA B * MEZCLA C
□ MEZCLA D × MEZCLA E

CONCLUSIONES.

- 1) Los CGC pueden ser fabricados en El Salvador con materiales nacionales y los aditivos que se distribuyen en el mercado nacional, la mayor resistencia obtenida en esta investigación fue de 560 Kg/cm² a los 28 días y 630 Kg/cm² a los 60 días. (mezcla F).

- 2) El aditivo indispensable en la producción de los CGC es el superplastificante, para conseguir una manejabilidad adecuada y consolidar efectivamente el concreto

- 3) Los factores más importantes de controlar para la elaboración de estos concretos son:
 - 3.1) La relación $a/(c+p)$ ✓
 - 3.2) La consolidación en el concreto fresco. ✓

- 4) Hasta que se realicen investigaciones más profundas en las adiciones de microsíllica no es recomendable el uso de esta por lo difícil que resulta su manejo; y de utilizarse hacerlo con relaciones "agua/ cemento" mayores que las utilizadas en este trabajo de graduación. (0.33)

- 5) Para utilizar los CGC en proyectos de ingeniería, se deberá preparar con mucho cuidado la metodología que se utilizará en el manejo y la colocación de estos concretos, por el poco tiempo disponible en el cual se encuentran trabajables.

6) El muestreo y control de los CGC deberán ser realizados por personal capacitado en este tipo de concretos. Además el manejo de las muestras, antes y durante los ensayos debe ser cuidadoso con el fin de reducir al máximo las dispersiones en los resultados de las pruebas, y para que estas reflejen de manera confiable las características del concreto.

7) El uso de este concreto es justificable solo en obras especiales en los que el reemplazo de los elementos deteriorados sea muy costoso, o en obras en las cuales el concreto este sujeto a condiciones severas de exposición a medio ambientes severos, elementos prefabricados, etc.

RECOMENDACIONES.

Debido a los resultados obtenidos en este seminario se propone una investigación posterior y continua, estructurada por etapas que contemplen al menos los siguientes aspectos:

1) Realizar más diseños de mezclas, fabricando suficientes especímenes para poder aplicar un análisis estadístico confiable. Estas nuevas mezclas podrían hacerse escogiendo las que mayor resistencia reportaron en esta investigación.

2) Una vez se tenga una base de análisis estadístico confiable, se deberán investigar los factores que tienen incidencia en la ganancia de resistencia mecánica, variando un solo factor mientras permanecen constantes los demás, con el objeto de averiguar cuales de estos factores inciden de manera más importante en las características del concreto fresco y endurecido.

3) Con los valores correlacionados, establecer un modelo de correlación múltiple para diseño de Concretos de Gran Comportamiento, y comprobarlo para averiguar el grado de precisión alcanzado. (Entiéndase por modelo, un método para diseños de mezcla, con parámetros adecuados a los materiales utilizados en el país.)

4) Finalmente, el ensayar otros agregados pétreos y aditivos para escoger los materiales que presentan más ventajas para usarlos en los CGC.

5) Establecer estudios más específicos en situaciones particular como pueden ser:

5.1) Buscar otros superplastificantes, para analizar su compatibilidad con el cemento nacional. ✓

5.2) Evaluar si otro tipo de cemento genera mejores resultados que el tipo I pm. ✓

5.3) Realizar otras mezclas de prueba con mayores cantidades de superplastificante (entre el 2 y el 3% en peso de materiales cementantes) ✓

5.4) Seguir experimentando con arenas y gravas de características similares o superiores a las de la arena del Jiboa y gravas de la cantera de San Diego ("La Cascada") ✓

5.5) Realizar pruebas de permeabilidad a los CGC

5.6) Realizar pruebas de esfuerzo a la compresión en especímenes curados solo 7, 14, 28 días y luego ensayarlos a las mismas edades que las consideradas en esta investigación para evaluar las diferencias de resultados ✓

5.7) Utilizar Microsílica y analizar su comportamiento en mezclas con relaciones $a/(c+p)$ de 0.35 o más.

5.8) Realizar ensayos variando parámetros de velocidad y tiempo de mezclado, así como el proceso de carga en la mezcladora, para evaluar su incidencia en la homogeneización del concreto.

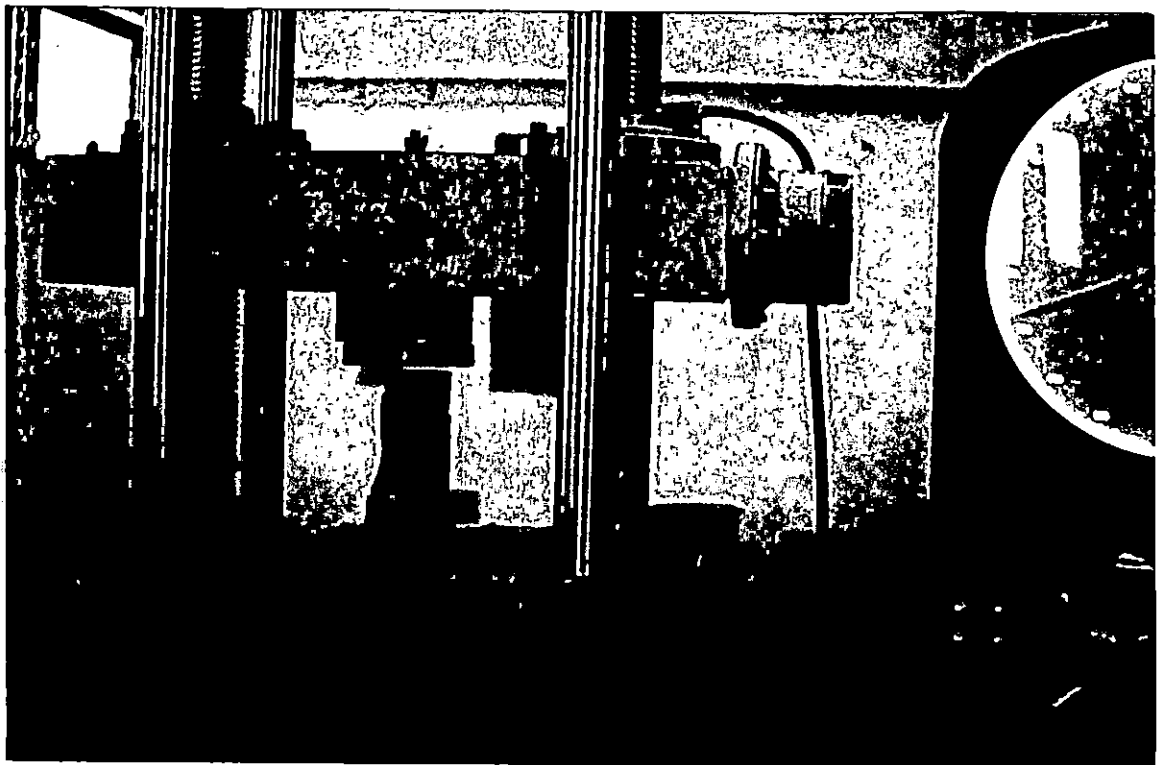
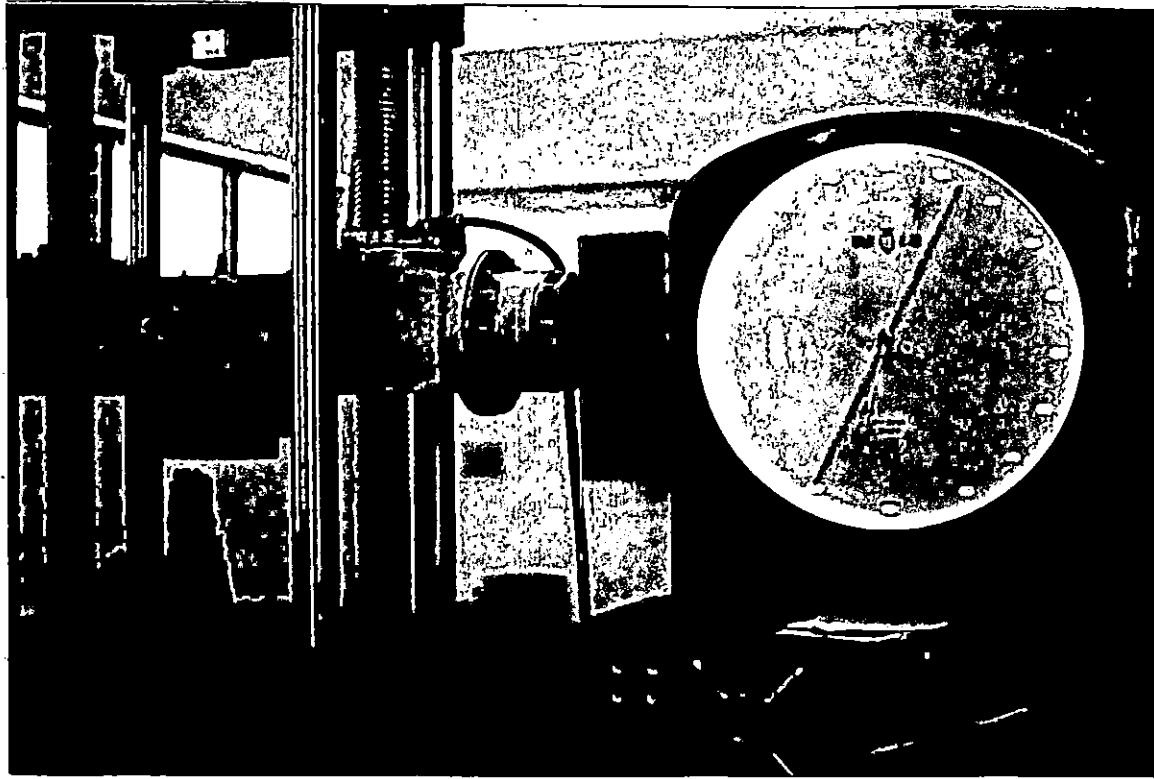
5.9) Hacer pruebas de durabilidad utilizando otro tipo de soluciones con diferentes concentraciones, por ejemplo: Sulfato de sodio, Sulfato de magnesio, etc.

6) Hacer estudios del comportamiento de los CGC en condiciones de diseño más específicas para determinar la factibilidad del uso de este concreto en elementos determinados tales como:

- 6.1) Elementos y estructuras de obras hidráulicas como lo son: tuberías, obras físicas en plantas de tratamiento de aguas negras, canales, etc.
- 6.2) Elementos en contacto con el medio ambiente costero, en especial los que están en contacto con agua de mar.
- 6.3) Elementos presforzados.
- 6.4) Elementos prefabricados.
- 6.5) Pavimentos de concreto hidráulico.
- 6.6) Elementos esbeltos de concreto reforzado
etc.

7) Establecer un organismo capaz de dirigir y coordinar a nivel nacional los esfuerzos y recursos para realizar investigaciones en los CGC y darle continuidad, ya que potencialmente, es una buena alternativa de solución a problemas donde se requiere de concretos con características especiales como las que poseen estos concretos: altas resistencias mecánicas, baja permeabilidad, alta densidad, etc.

ANEXOS Y FOTOGRAFIAS



LAS FOTOS MUESTRAN LA MAQUINA UTILIZADA PARA
LA PRUEBA DE COMPRESION UNIAXIAL (ASTM C-39)

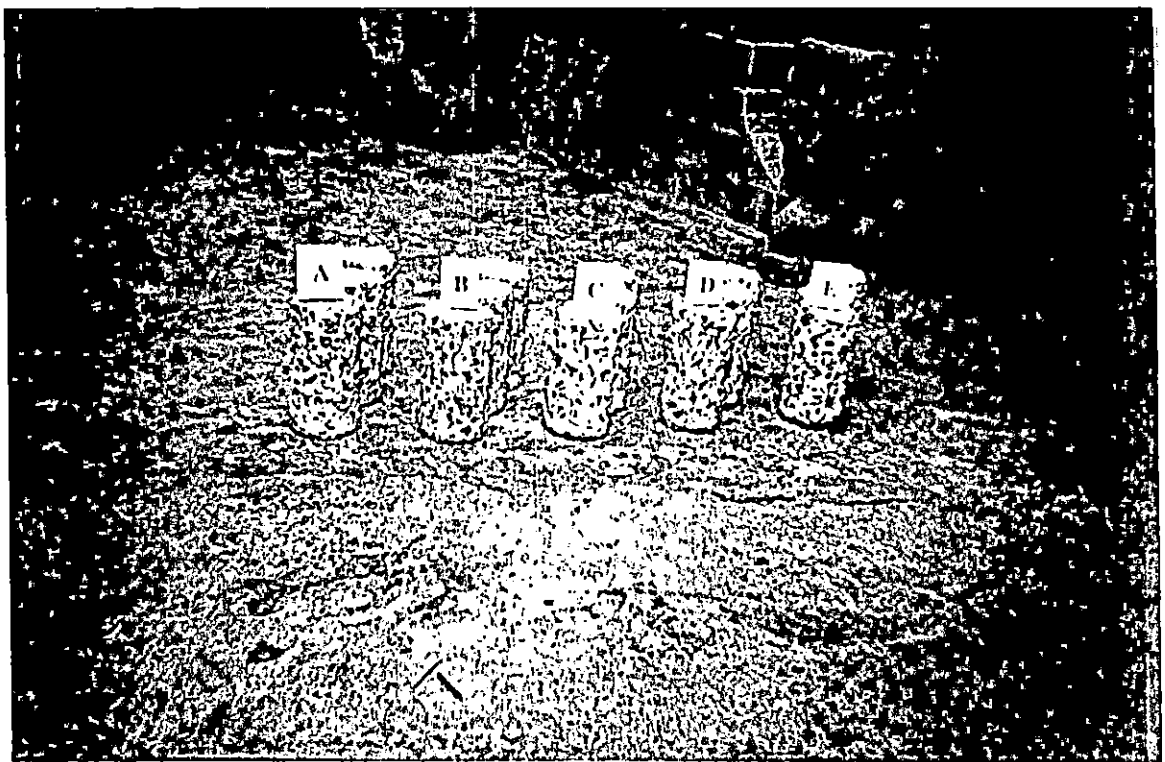
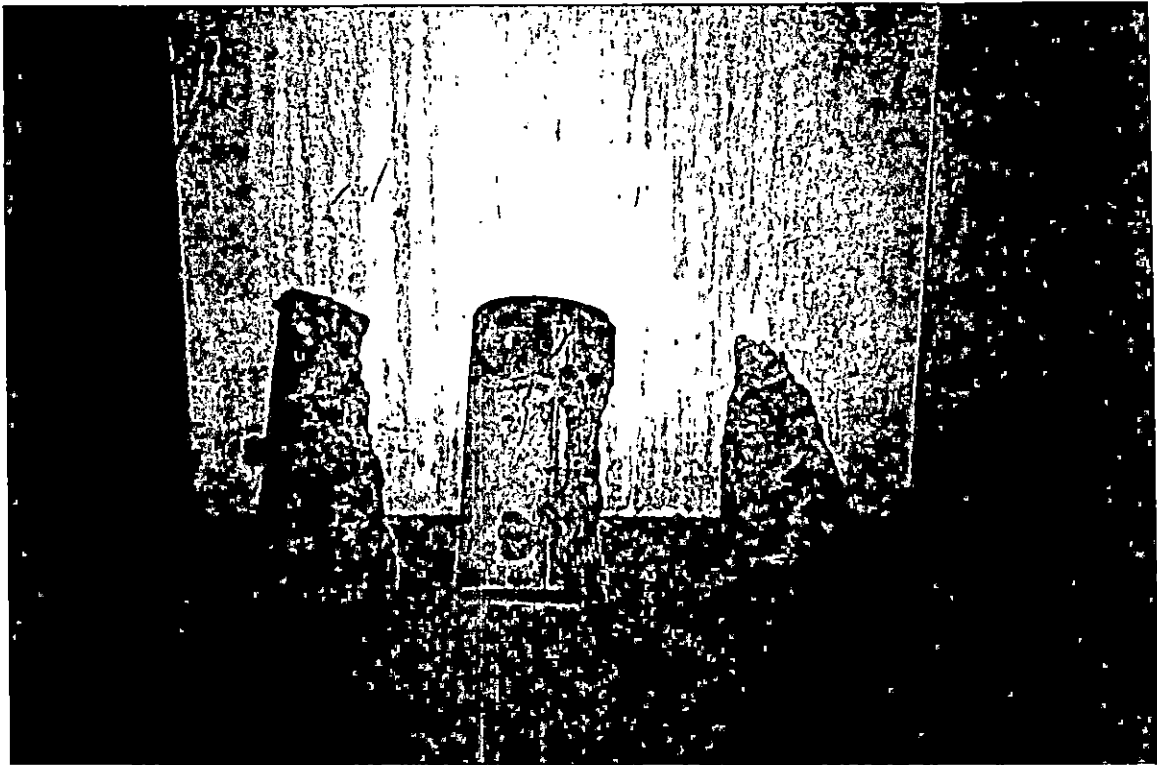
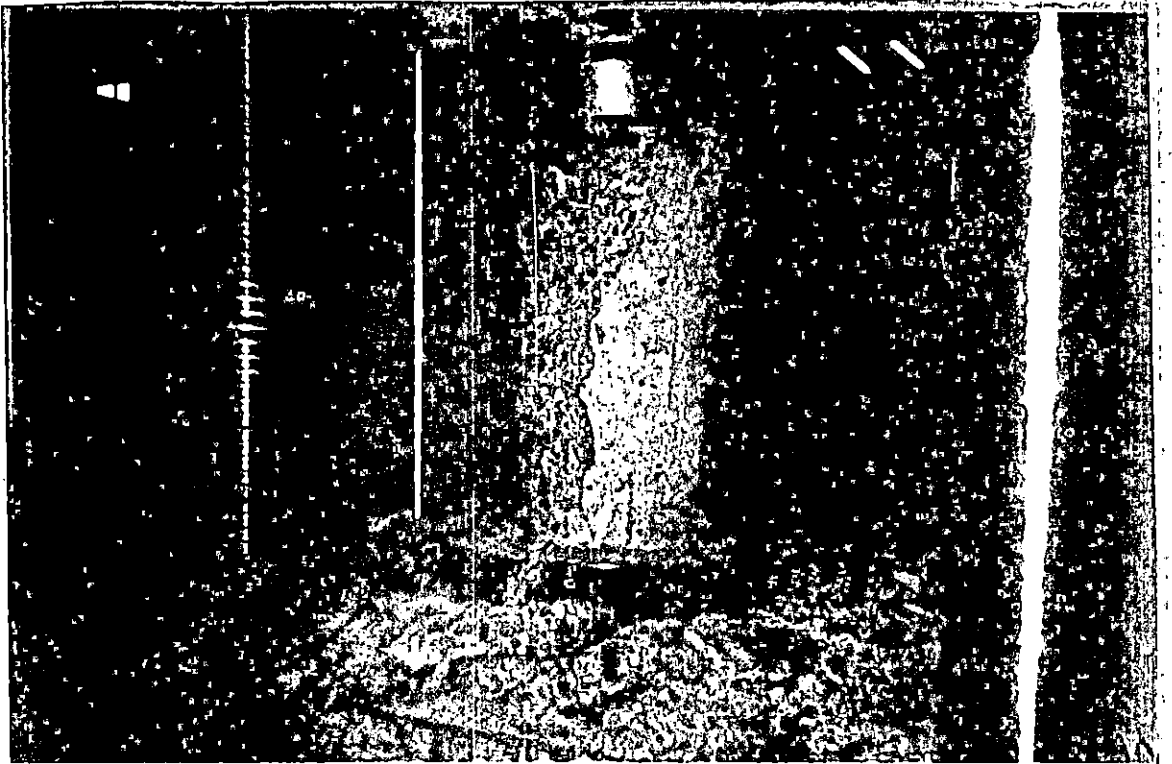
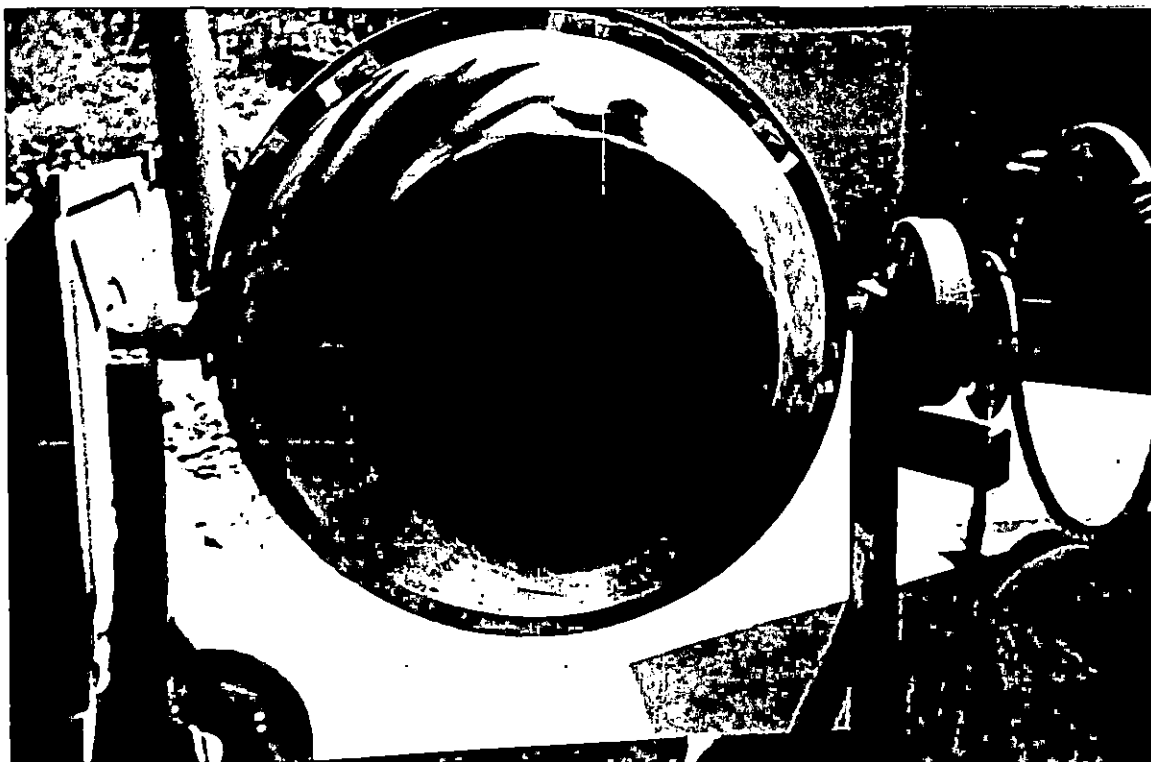


FOTO SUPERIOR: FALLAS CARACTERISTICAS EN LOS ESPECIMENES DE CONCRETO SOMETIDOS A COMPRESION UNIAXIAL.

FOTO INFERIOR: CILINDROS DE 100mmX200mm CORRESPONDIENTES A LAS MEZCLAS A, B, C, D Y E AL FINAL DE LA PRUEBA DE DURABILIDAD



LAS FOTOS MUESTRAN DIFERENTES TIPOS DE FALLA
EN LOS ESPECIMENES DE PRUEBA DE 150mmX300mm
A COMPRESION UNIAXIAL. EN LA FOTO INFERIOR
PUEDE OBSERVARSE LA FALLA TIPO COLUMNAR

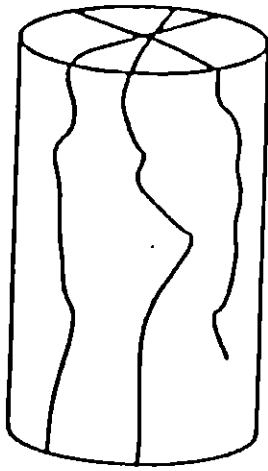


TIPO DE CONCRETERA UTILIZADA PARA
LA OPERACION DE MEZCLADO

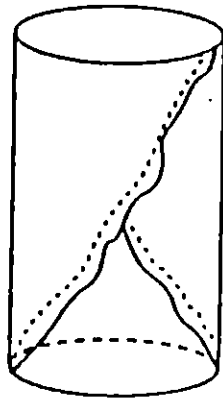
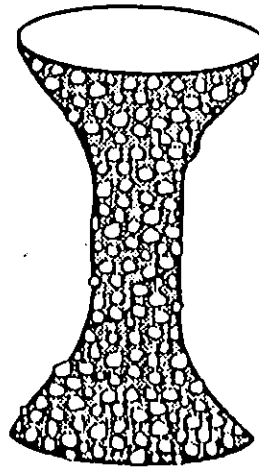
FALLAS CARACTERÍSTICAS OCURRIDAS EN LOS ESPECIMENES

DE CONCRETO DE 150mmX300mm.

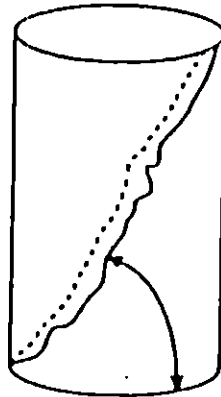
PARTIDA



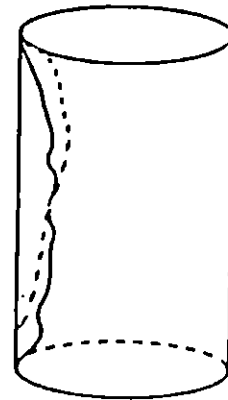
TRONCOCONICO



Conica
Ruptura



Diagonal
Ruptura

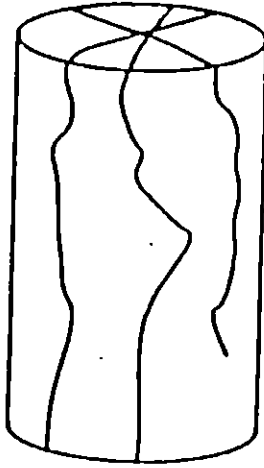


Ruptura

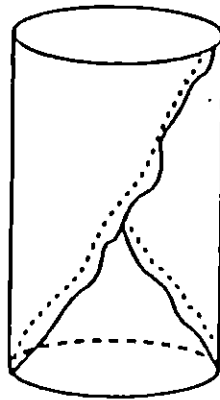
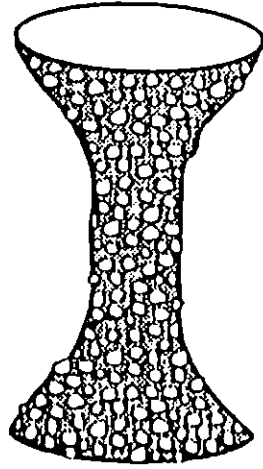
FALLAS CARACTERISTICAS OCURRIDAS EN LOS ESPECIMENES

DE CONCRETO DE 150mmX300mm.

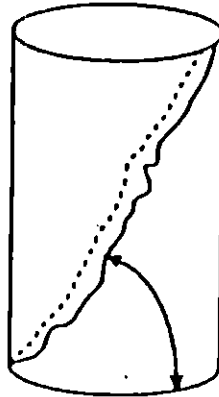
PARTIDA



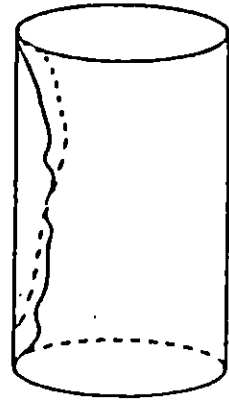
TRONCOCONICO



Conica
Ruptura



Diagonal
Ruptura



Ruptura



Sikament[®]

Hoja Técnica

Tipo	Estabilizador sintético para consistencia superfluida del concreto fresco.
Descripción	<p>SIKAMENT es un producto sintético, adicionado de estabilizadores especiales, que produce, agregado al concreto fresco plástico, una consistencia superfluida y alta trabajabilidad. No contiene cloruros, ni es cáustico, ni tóxico, ni inflamable.</p> <p>SIKAMENT se caracteriza por un alto poder dispersante, permitiendo una perfecta distribución de las partículas del cemento en el concreto, provocando su hidratación completa, obteniendo el máximo efecto adherente del cemento.</p>
Datos técnicos	<p>SIKAMENT: Líquido color café. Densidad: 1.12 a 20°C. pH: Aprox. 7</p>
Propiedades	<p>SIKAMENT proporciona al concreto las siguientes propiedades:</p> <p><i>I. Concreto superfluidado.</i></p> <ul style="list-style-type: none">a) Consistencia fluida, sin disminuir resistencias finales del concreto endurecido.b) Óptima homogenización del concreto fresco SIKAMENT, obteniéndose resistencias finales uniformes.c) No ocurre ni sangrado ni segregación en el concreto fresco SIKAMENT, a condición de que el diseño del concreto base sea correcto.d) Notable disminución de contracción y de la tendencia a la fisuración en concretos elaborados con SIKAMENT.e) Mayor impermeabilidad, durabilidad y resistencia, aún al hielo, a condición de que el diseño original del concreto sea adecuado.f) Fácil y rápida colocación del concreto fresco SIKAMENT, ahorrando mano de obra y tiempo (hasta 50% por cada concepto).g) El vibrado se puede casi eliminar, salvo en partes densamente armadas.h) El concreto fresco SIKAMENT es autonivelante y autocompactante.i) El concreto SIKAMENT colocado mediante bomba permite máximos incrementos del colado por unidad de tiempo con un mínimo de mano de obra y esfuerzo. Taponamientos de las bombas se eliminan por completo y las bombas trabajan hasta a un tercio de menos presión que con concretos bombeables tradicionales.j) Concreto aparente, elaborado a base de concreto SIKAMENT se distingue por sus superficies tersas y perfectamente uniformes, exento de nidos y otras imperfecciones.k) SIKAMENT no incluye aire en el concreto. <p><i>II. Reductor de agua.</i></p> <ul style="list-style-type: none">l) SIKAMENT permite reducir el agua de mezcla entre 10 a un 25% (en casos extremos). <p>En casos que no se necesita el efecto superfluidizante, se puede utilizar SIKAMENT</p>

Advertencia:

Todos nuestros productos han sido fabricados de acuerdo a las normas de exactitud SIKKA y ejerciendo toda precaución razonable. La información que suministramos es correcta de acuerdo con nuestra experiencia; los productos tal como se venden, cumplen los fines para los cuales han sido fabricados. No obstante, no se responde por variaciones en el método de empleo, condiciones en que sean aplicados o si son utilizados en forma que afecten cualquier patente propiedad de otros.

como plastificante-reductor de agua. Agrégase SIKAMENT al concreto de baja consistencia, obteniéndose luego un concreto con excelente plasticidad y superior trabajabilidad, comparado con un concreto testigo de revenimiento idéntico.
m) Los incisos: b, c, d, e y k del párrafo I, son aplicables también para el párrafo II.

Modo de empleo

A. Como Superfluidizante

Dosificación: 1.0% al 1.5% de SIKAMENT en peso sobre el peso del cemento. SIKAMENT se agrega al concreto al pie de la obra.

En mezcladoras de 1/2 a 2 sacos de cemento se agrega SIKAMENT en el momento cuando ya se elaboró el concreto base, teniendo éste un revenimiento de entre 6 y 10 cm., con SIKAMENT se incrementa entre un 10-18 cm. No se debe agregar SIKAMENT al agua de mezcla, sino precisamente tal cual, al final del tiempo del mezclado normal. Tiempo de incorporación (mezclado) de SIKAMENT: 1 minuto 30 segs.

En caso de tratarse de ollas o transcretos, se verifica el revenimiento al llegar a la obra. Siendo éste correcto, se agrega la dosis adecuada de SIKAMENT. Tiempo de mezclado: según tamaño de la olla.

Ollas de 4 a 5 m³, 2 minutos 30 segs.

Ollas de 6 a 10 m³, 3 a 5 minutos.

El concreto SIKAMENT fresco tiene que colocarse y acabarse sin demora. La permanencia del efecto de superfluidez se mantiene durante 30 a 60 minutos. El lapso de la permanencia obedece a las temperaturas del concreto fresco SIKAMENT y del ambiente.

Demoras imprevistas en un colado pueden remediarse mediante una segunda dosis de SIKAMENT al concreto, si éste se encuentra todavía en una mezcladora u olla. La colocación de concreto fresco SIKAMENT en el caso de colar losas, necesitará un mínimo de mano de obra y resultará rápido, si los operarios están equipados con rastrillos y llanas con mango largo. Palas de mano son herramientas extremadamente inefectivas para transportar concreto fluido.

B. Como Plastificante - Reductor de agua.

Dosificación: 1.0 a 1.5% de SIKAMENT en peso sobre el peso del cemento presente en el concreto. Mediante pruebas previas se determina la relación agua-cemento inicial del concreto base, agregándose la dosis de elección (1.0 a 1.5%) de SIKAMENT con el fin de lograr un concreto plástico de alta resistencia final.

Curado

En el colado de losas o en otras superficies donde el concreto fresco SIKAMENT es expuesto al sol, aire y viento, es imprescindible aplicar en el momento propicio el tipo de curado más adecuado, de acuerdo con las normas.

Almacenaje

SIKAMENT puede almacenarse por lo menos dos años en lugar seco, fresco, bajo techo y bien tapado.

Presentación

Tambores de 200 lts.
Cubetas de 20 lts.



Sika Mexicana, S.A. de C.V.

Calle 9 N° 4-A, Fracc. Alce Blanco, Naucalpan, Edo. de Méx.
Tel. 576-9000 (PEDIDOS)

SikaFume®
ADITIVO PARA CONCRETOS
DE ALTA DURABILIDAD



DESCRIPCION

Aditivo en polvo con base en Humo de Sílice para producir mezclas de concreto con altas características de cohesividad, y resistencias química y mecánica. Reacciona químicamente con la cal libre del cemento, mejorando la resistencia de la mezcla. Su finura llena los poros del concreto.

USOS

SikaFume puede ser usado cuando se requiera:

- Concreto de alta durabilidad.
- Concreto bombeable con buena cohesividad.
- Concreto con altas resistencias químicas y mecánicas.

VENTAJAS

SikaFume, aporta al concreto una mayor durabilidad en ambientes agresivos (plantas industriales, centrales eléctricas, industrias agrícolas, talleres, etc.).

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

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

MODO DE EMPLEO

SikaFume, se encuentra listo para su utilización, debe ser incorporado en la mezcla de concreto por los medios normales como si se tratara de una adición. Dada su gran finura, siempre debe usarse en compañía de un aditivo superplastificante, (Sikament, Sikament 300, Sikament FF, etc).

Se debe tener precaución de incrementar los tiempos de mezclado para una perfecta homogeneidad. Para mejor incorporación y resultados óptimos, se aconseja utilizar el siguiente procedimiento de mezclado, tanto en planta como en obra:

- Verter los agregados grueso y fino.
- Adicionar el SikaFume y mezclar en seco.
- Adicionar el cemento y continuar la mezcla en seco.
- Adicionar el agua de amasado con el aditivo superplastificante.

Dosificación

De 5 a 30 kg/m³ de acuerdo con las necesidades y aplicación específica del concreto.

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

PRECAUCIONES

SikaFume es un aditivo con tamaño de partícula fina, lo que hace que en la mezcla de concreto se tenga una alta demanda de agua, por lo tanto debe ser usado siempre en compañía de aditivos superplastificantes del tipo Sikament. Consultar al Departamento Técnico de Sika Andina para la selección del aditivo más recomendado de acuerdo con la necesidad específica.

DATOS TECNICOS

Aspecto : Polvo fino gris
Contenido SiO₂ : 99.0% mínimo
Superficie Específica : 150 m²/gr aprox.

**MEDIDAS
DE SEGURIDAD**

Debe utilizarse máscara para polvos en su manipulación. No es tóxico, ni presenta problemas para la salud.

PRESENTACION

Bolsa plástica de 25 kg.

**ALMACENAMIENTO
Y TRANSPORTE**

Indefinido en su empaque original, bien cerrado, bajo techo.

Para el transporte deben tomarse las precauciones normales para el manejo de un producto químico.

Si necesita información adicional consulte al **Departamento Técnico de Sika Andina S.A.**

Servicio al cliente desde cualquier lugar del país 9800-1 SIKA (1 - 7452) Santafé de Bogotá D.C. Llamada gratuita

REGIONALES

BOGOTÁ-ORIENTE
Carrera 69B No. 15A-36
Tel.: (91) 2926134
Fax: (91) 2923484
A.A. 8592
Santafé de Bogotá D.C.

BARRANQUILLA
Calle 30 No. 1-25
Centro Ind. B/quilla.
Tels: (958) 2363696-368192
Fax: (958) 400162
A.A. 051355 - B/quilla

MEDELLÍN
Carrera 43A No. 16 Sur-139
Tel: (94) 2668803-2667202
Fax: (94) 3113389
A.A. 5345 Medellín

CALI
Carrera 24 No. 13-371
Urb. Ind. la Ye.
Acopi Yumbo
Tel: (923) 655711
Fax: (923) 645180
A.A. 5646 Cali

BUCAMANGA
Calle 21 No. 27-54
Tel.: (976) 451032
Fax: (976) 341304
A.A. 40541 B/manga

PEREIRA
Carrera 9a No. 13-41
Tels: (963) 343715-357729
Fax.: (963) 358429
A.A. 4644 Pereira

CARTAGENA
Carrera 5a No. 7-82
Bocagrande
Tel: (953) 652914
A.A. 2907
Cartagena

ADVERTENCIA:

Todos nuestros productos han sido desarrollados y fabricados con toda la precaución razonable de acuerdo a normas de exactitud y calidad de SIKA. La información que suministramos es correcta de acuerdo con nuestra experiencia; los productos tal como se venden, cumplen los fines para los cuales han sido fabricados. No obstante no se responde por variación en el método de empleo, condiciones en que sean aplicados, cuando la vigencia del producto esté vencida, o si son utilizados en forma que afecte la salud o, cualquier patente propiedad de otros; para usos especializados o cuando surjan dudas en cuanto al uso o aplicación de un producto, deberá consultarse al Departamento Técnico de SIKA.



Segura protección al alcance de todos.



Standard Specification for Concrete Aggregates¹

This standard is issued under the fixed designation C 33; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This specification has been approved for use by agencies of the Department of Defense and for listing in the DoD Index of Specifications and Standards.

1. Scope

1.1 This specification defines the requirements for grading and quality of fine and coarse aggregate (other than lightweight or heavyweight aggregate) for use in concrete.²

1.2 The information in this specification may be used by a specifier (designer, architect, engineer, etc.) to define the quality and grading of the aggregate to be used in the concrete in the structure. The specification may be also used by a contractor, concrete supplier, or other purchaser as a purchase document describing the material to be furnished by the aggregate producer.

NOTE 1—This specification is regarded as adequate to ensure satisfactory materials for most concrete. It is recognized that, for certain work or in certain regions, it may be either more or less restrictive than needed. The specifier should ascertain that aggregates specified are or can be made available in the area of the work, with regard to grading, physical, or chemical properties, or combination thereof.

1.3 Units of Measurement:

1.3.1 With regard to sieve sizes and the size of aggregate as determined by the use of testing sieves, the values in inch-pound units are shown for the convenience of the user; however, the standard sieve designation shown in parentheses is the standard value as stated in Specification E 11.

1.3.2 With regard to other units of measure, the values stated in inch-pound units are to be regarded as standard.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- C 29 Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregate³
- C 40 Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete³
- C 87 Test Method for Effect of Organic Impurities in Fine Aggregate on Strength of Mortar³
- C 88 Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate³

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee C-9 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.03.05 on Methods of Testing and Specifications for Physical Characteristics of Concrete Aggregates.

Current edition approved March 27, 1986. Published May 1986. Originally published as C 33 - 21 T. Last previous edition C 33 - 85. Changes from the previous revision have included references to heavyweight aggregates in 1.1, 2.1, and footnote 2.

² For lightweight aggregates, see Specifications C 331, C 332, and C 330; for heavyweight aggregates see Specification C 637 and Descriptive Nomenclature C 638.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

- C 117 Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing³
- C 123 Test Method for Lightweight Pieces in Aggregate
- C 125 Definitions of Terms Relating to Concrete and Concrete Aggregates³
- C 131 Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine³
- C 136 Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates³
- C 142 Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates³
- C 227 Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method)
- C 289 Test Method for Potential Reactivity of Aggregates (Chemical Method)³
- C 294 Descriptive Nomenclature of Constituents of Natural Mineral Aggregates³
- C 295 Practice for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete³
- C 330 Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete³
- C 331 Specification for Lightweight Aggregates for Concrete Masonry Units³
- C 332 Specification for Lightweight Aggregates for Insulating Concrete³
- C 342 Test Method for Potential Volume Change of Cement-Aggregate Combinations³
- C 535 Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine³
- C 586 Test Method for Potential Alkali Reactivity of Carbonate Rocks for Concrete Aggregates (Rock Cylinder Method)³
- C 637 Specifications for Aggregates for Radiation Shielding Concrete³
- C 638 Descriptive Nomenclature of Constituents of Aggregates for Radiation Shielding Concrete³
- C 666 Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing³
- D 75 Practice for Sampling Aggregates³
- D 3665 Practice for Random Sampling of Construction Materials⁴

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.03.

E 11 Specification for Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes³

3. Ordering Information

3.1 The purchaser shall include the following information in the purchase order when applicable:

3.1.1 Reference to this specification, C 33, and date of issue,

3.1.2 Whether the order is for fine aggregate or for coarse aggregate,

3.1.3 Quantity, in tons or metric tons (Note 2),

3.1.4 When the order is for fine aggregate (Note 3):

3.1.4.1 Whether the optional grading in 5.2 applies,

3.1.4.2 Whether the restriction on reactive materials in 6.3 applies,

3.1.4.3 In the case of the sulfate soundness test (7.1) which salt is to be used. If none is stated, either salt may be used,

3.1.4.4 The appropriate limit for material finer than No. 200 sieve (Table 1). If not stated, the 3.0 % limit shall apply,

3.1.4.5 The appropriate limit for coal and lignite (Table 1). If not stated, the 1.0 % limit shall apply.

3.1.5 When the order is for coarse aggregate (Note 3):

3.1.5.1 The grading (size number) (9.1 and Table 2),

3.1.5.2 The class designation (10.1 and Table 3),

3.1.5.3 Whether the restriction on reactive materials in 10.2 applies,

3.1.5.4 In the case of the sulfate soundness test (Table 3), which salt is to be used. If none is stated, either salt may be used.

3.1.6 Any exceptions or additions to this specification (see Notes 1 and 3).

NOTE 2—The weight should be determined as loaded in the hauling unit, including any natural moisture present. No water should be added at the time of loading.

NOTE 3—The specifier (architect, engineer, etc.) should include in the contract documents his requirements as to the items listed in 3.1.4, 3.1.5, and 3.1.6. Otherwise, any grading or quality described in this specification which is furnished may be deemed to be acceptable, even though it may later prove to be unsatisfactory in service.

FINE AGGREGATE

4. General Characteristics

4.1 Fine aggregate shall consist of natural sand, manufac-

TABLE 1 Limits for Deleterious Substances in Fine Aggregate for Concrete

Item	Weight Percent of Total Sample, max
Clay lumps and friable particles	3.0
Material finer than No. 200 (75- μ m) sieve:	
Concrete subject to abrasion	3.0 ^A
All other concrete	5.0 ^A
Coal and lignite:	
Where surface appearance of concrete is of importance	0.5
All other concrete	1.0

^A In the case of manufactured sand, if the material finer than the No. 200 (75 μ m) sieve consists of the dust of fracture, essentially free of clay or shale fines, it may be exempted from the above limits.

tured sand, or a combination thereof.

5. Grading

5.1 Sieve Analysis—Fine aggregate, except as provided in 5.2, 5.3, and 5.4, shall be graded within the following limits:

Sieve (Specification E 11)	Percent Passing
3/4-in. (9.5 mm)	100
No. 4 (4.75-mm)	95 to 100
No. 8 (2.36-mm)	80 to 100
No. 16 (1.18-mm)	50 to 85
No. 30 (600- μ m)	25 to 60
No. 50 (300- μ m)	10 to 30
No. 100 (150- μ m)	2 to 10

5.2 The minimum percent shown above for material passing the No. 50 (300- μ m) and No. 100 (150- μ m) sieves may be reduced to 5 and 0, respectively, if the aggregate is to be used in air-entrained concrete containing more than 400 lb of cement per cubic yard (237 kg/m³) or in nonair-entrained concrete containing more than 500 lb of cement per cubic yard (297 kg/m³) or if an approved mineral admixture is used to supply the deficiency in percent passing these sieves. Air-entrained concrete is here considered to be concrete containing air-entraining cement or an air-entraining agent and having an air content of more than 3 %.

5.3 The fine aggregate shall have not more than 45 % passing any sieve and retained on the next consecutive sieve of those shown in 5.1, and its fineness modulus shall be not less than 2.3 nor more than 3.1.

5.4 Fine aggregate failing to meet the sieve analysis and fineness modulus requirements of 5.1, 5.2, or 5.3, may be accepted provided that concrete made with similar fine aggregate from the same source has an acceptable performance record in similar concrete construction; or, in the absence of a demonstrable service record, provided that it is demonstrated that concrete of the class specified, made with the fine aggregate under consideration, will have relevant properties at least equal to those of concrete made with the same ingredients, with the exception that a reference fine aggregate be used which is selected from a source having an acceptable performance record in similar concrete construction.

NOTE 4—Fine aggregate that conforms to the grading requirements of a specification, prepared by another organization such as a state transportation agency, which is in general use in the area, should be considered as having a satisfactory service record with regard to those concrete properties affected by grading.

NOTE 5—Relevant properties are those properties of the concrete which are important to the particular application being considered. STP 169B³ provides a discussion of important concrete properties.

5.5 For continuing shipments of fine aggregate from a given source, the fineness modulus shall not vary more than 0.20 from the base fineness modulus. The base fineness modulus shall be that value that is typical of the source. If necessary, the base fineness modulus may be changed when approved by the purchaser.

NOTE 6—The base fineness modulus should be determined from previous tests, or if no previous tests exist, from the average of the fineness modulus values for the first ten samples (or all preceding samples if less than ten) on the order. The proportioning of a concrete

TABLE 2 Grading Requirements for Coarse Aggregates

Size Number	Nominal Size (Sieves with Square Openings)	Amounts Finer than Each Laboratory Sieve (Square-Openings), Weight Percent												
		4 in. (100 mm)	3½ in. (90 mm)	3 in. (75 mm)	2½ in. (63 mm)	2 in. (50 mm)	1½ in. (37.5 mm)	1 in. (25.0 mm)	¾ in. (19.0 mm)	½ in. (12.5 mm)	⅜ in. (9.5 mm)	No. 4 (4.75 mm)	No. 8 (2.36 mm)	No. 16 (1.18 mm)
1	3½ to 1½ in. (90 to 37.5 mm)	100	90 to 100	...	25 to 60	...	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...
2	2½ to 1½ in. (63 to 37.5 mm)	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...
3	2 to 1 in. (50 to 25.0 mm)	...	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...
357	2 in. to No. 4 (50 to 4.75 mm)	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	...	0 to 5	...	...
4	1½ to ¾ in. (37.5 to 19.0 mm)	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...
467	1½ in. to No. 4 (37.5 to 4.75 mm)	...	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	0 to 5	...	...
5	1 to ½ in. (25.0 to 12.5 mm)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...	...	...
56	1 to ⅜ in. (25.0 to 9.5 mm)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 85	10 to 40	0 to 15	0 to 5	...	...
57	1 in. to No. 4 (25.0 to 4.75 mm)	...	...	...	...	...	100	95 to 100	...	25 to 60	...	0 to 10	0 to 5	...
6	¾ to ⅜ in. (19.0 to 9.5 mm)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	0 to 5	...	...
67	¾ in. to No. 4 (19.0 to 4.75 mm)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	...	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...
7	½ in. to No. 4 (12.5 to 4.75 mm)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 70	0 to 15	0 to 5	...
8	⅜ in. to No. 8 (9.5 to 2.36 mm)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 30	0 to 10	0 to 5

mixture may be dependent on the base fineness modulus of the fine aggregate to be used. Therefore, when it appears that the base fineness modulus is considerably different from the value used in the concrete mixture, a suitable adjustment in the mixture may be necessary.

6. Deleterious Substances

6.1 The amount of deleterious substances in fine aggregate shall not exceed the limits prescribed in Table 1.

6.2 Organic Impurities:

6.2.1 Fine aggregate shall be free of injurious amounts of organic impurities. Except as herein provided, aggregates subjected to the test for organic impurities and producing a color darker than the standard shall be rejected.

6.2.2 A fine aggregate failing in the test may be used, provided that the discoloration is due principally to the presence of small quantities of coal, lignite, or similar discrete particles.

6.2.3 A fine aggregate failing in the test may be used, provided that, when tested for the effect of organic impurities on strength of mortar, the relative strength at 7 days calculated in accordance with Test Method C 87, is not less than 95 %.

6.3 Fine aggregate for use in concrete that will be subject to wetting, extended exposure to humid atmosphere, or contact with moist ground shall not contain any materials that are deleteriously reactive with the alkalis in the cement in an amount sufficient to cause excessive expansion of mortar or concrete, except that if such materials are present in injurious amounts, the fine aggregate may be used with a cement containing less than 0.60 % alkalis calculated as sodium oxide equivalent (Na₂O + 0.658K₂O) or with the addition of a material that has been shown to prevent

harmful expansion due to the alkali-aggregate reaction. (See Appendix X1)

7. Soundness

7.1 Except as provided in 7.2 and 7.3, fine aggregate subjected to five cycles of the soundness test shall have a weighted average loss not greater than 10 % when sodium sulfate is used or 15 % when magnesium sulfate is used.

7.2 Fine aggregate failing to meet the requirements of 7.1 may be accepted, provided that concrete of comparable properties, made from similar aggregate from the same source, has given satisfactory service when exposed to weathering similar to that to be encountered.

7.3 Fine aggregate not having a demonstrable service record and failing to meet the requirements of 7.1 may be accepted, provided it gives satisfactory results in concrete subjected to freezing and thawing tests (see Test Method C 666).

COARSE AGGREGATE

8. General Characteristics

8.1 Coarse aggregate shall consist of gravel, crushed gravel, crushed stone, air-cooled blast furnace slag, or crushed hydraulic-cement concrete, or a combination thereof, conforming to the requirements of this specification.

NOTE 7—Although crushed hydraulic-cement concrete has been used as an aggregate with reported satisfactory results, its use may require some additional precautions. Mixing water requirements may be increased because of the harshness of the aggregate. Partially deteriorated concrete, used as aggregate, may reduce freeze-thaw resistance, affect air void properties or degrade during handling, mixing, or placing. Crushed concrete may have constituents that would be susceptible to alkali-aggregate reactivity or sulfate attack in the new concrete or may



Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing¹

This standard is issued under the fixed designation C 666; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This method has been approved for use by agencies of the Department of Defense and for listing in the DoD Index of Specifications and Standards.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the resistance of concrete specimens to rapidly repeated cycles of freezing and thawing in the laboratory by two different procedures: Procedure A, Rapid Freezing and Thawing in Water, and Procedure B, Rapid Freezing in Air and Thawing in Water. Both procedures are intended for use in determining the effects of variations in the properties of concrete on the resistance of the concrete to the freezing-and-thawing cycles specified in the particular procedure. Neither procedure is intended to provide a quantitative measure of the length of service that may be expected from a specific type of concrete.

1.2 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard.

1.3 All material in this test method not specifically designated as belonging to Procedure A or Procedure B applies to either procedure.

1.4 *This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of whoever uses this standard to consult and establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- C 157 Test Method for Length Change of Hardened Cement Mortar and Concrete²
- C 192 Method of Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory²
- C 215 Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Frequencies of Concrete Specimens²
- C 233 Method of Testing Air-Entraining Admixtures for Concrete²
- C 341 Test Method for Length Change of Drilled or Sawed Specimens of Cement Mortar and Concrete²
- C 490 Specification for Apparatus for Use in Measurement of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concrete²

C 494 Specification for Chemical Admixtures for Concrete²

C 670 Practice for Preparing Precision Statements for Test Methods for Construction Materials²

C 823 Practice for Examination and Sampling of Hardened Concrete in Constructions²

3. Significance and Use

3.1 As noted in the scope, the two procedures described in this test method are intended to determine the effects of variations in both properties and conditioning of concrete in the resistance to freezing and thawing cycles specified in the particular procedure. Specific applications include specified use in Specification C 494, Method C 233, and ranking of coarse aggregates as to their effect on concrete freeze-thaw durability, especially where soundness of the aggregate is questionable.

3.2 It is assumed that the procedures will have no significantly damaging effects on frost-resistant concrete which may be defined as (1) any concrete not critically saturated with water (that is, not sufficiently saturated to be damaged by freezing) and (2) concrete made with frost-resistant aggregates and having an adequate air-void system that has achieved appropriate maturity and thus will prevent critical saturation by water under common conditions.

3.3 If as a result of performance tests as described in this test method concrete is found to be relatively unaffected, it can be assumed that it was either not critically saturated, or was made with "sound" aggregates, a proper air-void system, and allowed to mature properly.

3.4 No relationship has been established between the resistance to cycles of freezing and thawing of specimens cut from hardened concrete and specimens prepared in the laboratory.

4. Apparatus

4.1 Freezing-and-Thawing Apparatus:

4.1.1 The freezing-and-thawing apparatus shall consist of a suitable chamber or chambers in which the specimens may be subjected to the specified freezing-and-thawing cycle, together with the necessary refrigerating and heating equipment and controls to produce continuously, and automatically, reproducible cycles within the specified temperature requirements. In the event that the equipment does not operate automatically, provision shall be made for either its continuous manual operation on a 24-h a day basis or for the storage of all specimens in a frozen condition when the equipment is not in operation.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C-9 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.03.15 on Methods of Testing Concrete for Resistance to Weathering.

Current edition approved May 25, 1984. Published July 1984. Originally published as C 666 - 71. Last previous edition C 666 - 80.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

4.1.2 The apparatus shall be so arranged that, except for necessary supports, each specimen is: (1) for Procedure A, completely surrounded by not less than $\frac{1}{32}$ in. (1 mm) nor more than $\frac{1}{8}$ in. (3 mm) of water at all times while it is being subjected to freezing-and-thawing cycles, or (2) for Procedure B, completely surrounded by air during the freezing phase of the cycle and by water during the thawing phase. Rigid containers, which have the potential to damage specimens, are not permitted. Length change specimens in vertical containers shall be supported in a manner to avoid damage to the gage studs.

NOTE 1—Experience has indicated that ice or water pressure, during freezing tests, particularly in equipment that uses air rather than a liquid as the heat transfer medium, can cause excessive damage to rigid metal containers, and possibly to the specimens therein. Results of tests during which bulging or other distortion of containers occurs should be interpreted with caution.

Each specimen should be supported at the bottom of its container in such a way that the temperature of the heat-exchanging medium will not be transmitted directly through the bottom of the container to the full area of the bottom of the specimen, thereby subjecting it to conditions substantially different from the remainder of the specimen. A flat spiral of $\frac{1}{8}$ -inch. (3-mm) wire placed in the bottom of the container has been found adequate for this purpose.

NOTE 2—For Procedure B, it is not contemplated that the specimens will be kept in containers. The supports on which the specimens rest should be such that they are not in contact with the full area of the supported side or end of the specimen, thereby subjecting this area to conditions substantially different from those imposed on the remainder of the specimen.

4.1.3 The temperature of the heat-exchanging medium shall be uniform within 6°F (3.3°C) throughout the specimen cabinet when measured at any given time, at any point on the surface of any specimen container for Procedure A or on the surface of any specimen for Procedure B, except during the transition between freezing and thawing and *vice versa*.

4.1.3.1 Support each specimen at the bottom of its container in such a way that the temperature of the heat-exchanging medium will not be transmitted directly through the bottom of the container to the full area of the bottom of the specimen, thereby subjecting it to conditions substantially different from the remainder of the specimen.

NOTE 3—A flat spiral of $\frac{1}{8}$ -in. (3-mm) wire placed in the bottom of the container has been found adequate for supporting specimens.

4.1.4 For Procedure B, it is not contemplated that the specimens will be kept in containers. The supports on which the specimens rest shall be such that they are not in contact with the full area of the supported side or end of the specimen, thereby subjecting this area to conditions substantially different from those imposed on the remainder of the specimen.

NOTE 4—The use of relatively open gratings, metal rods, or the edges of metal angles has been found adequate for supporting specimens, provided the heat-exchanging medium can circulate in the direction of the long axis of the rods or angles.

4.2 *Temperature-Measuring Equipment*, consisting of thermometers, resistance thermometers, or thermocouples, capable of measuring the temperature at various points within the specimen chamber and at the centers of control specimens to within 2°F (1.1°C).

4.3 *Dynamic Testing Apparatus*, conforming to the requirements of Test Method C 215.

4.4 *Optional Length Change Test Length Change Comparator*, conforming to the requirements of Specification C 490. When specimens are longer than the nominal $11\frac{1}{4}$ in. (286 mm) length provided for in Specification C 490 used for freeze-thaw tests, use an appropriate length reference bar, which otherwise meets the Specification C 490 requirements. Dial gage micrometers for use on these longer length change comparators shall meet the gradation interval and accuracy requirements for Specification C 490 for either the inch or millimetre calibration requirements. Prior to the start of measurements on any specimens, fix the comparator at an appropriate length to accommodate all of the specimens to be monitored for length change.

4.5 *Scales*, with a capacity approximately 50 % greater than the weight of the specimens and accurate to at least 0.01 lb (4.5 g) within the range of ± 10 % of the specimen weight will be satisfactory.

4.6 *Tempering Tank*, with suitable provisions for maintaining the temperature of the test specimens in water, such that when removed from the tank and tested for fundamental transverse frequency and length change, the specimens will be maintained within -2°F and $+4^{\circ}\text{F}$ (-1.1°C and $+2.2^{\circ}\text{C}$) of the target thaw temperature for specimens in the actual freezing-and-thawing cycle and equipment being used. The use of the specimen chamber in the freezing-and-thawing apparatus by stopping the apparatus at the end of the thawing cycle and holding the specimens in it shall be considered as meeting this requirement, provided the specimens are tested for fundamental transverse frequency within the above temperature range. It is required that the same target specimen thaw temperature be used throughout the testing of an individual specimen since a change in specimen temperature at the time of length measurement can affect the length of the specimen significantly.

5. Freezing-and-Thawing Cycle

5.1 Base conformity with the requirements for the freezing-and-thawing cycle on temperature measurements of control specimens of similar concrete to the specimens under test in which suitable temperature-measuring devices have been imbedded. Change the position of these control specimens frequently in such a way as to indicate the extremes of temperature variation at different locations in the specimen cabinet.

5.2 The nominal freezing-and-thawing cycle for both procedures of this test method shall consist of alternately lowering the temperature of the specimens from 40 to 0°F (4.4 to -17.8°C) and raising it from 0 to 40°F (-17.8 to 4.4°C) in not less than 2 nor more than 5 h. For Procedure A, not less than 25 % of the time shall be used for thawing, and for Procedure B, not less than 20 % of the time shall be used for thawing (Note 2). At the end of the cooling period the temperature at the centers of the specimens shall be $0 \pm 3^{\circ}\text{F}$ ($-17.8 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$), and at the end of the heating period the temperature shall be $40 \pm 3^{\circ}\text{F}$ ($4.4 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$), with no specimen at any time reaching a temperature lower than -3°F (-19.4°C) nor higher than 43°F (6.1°C). The time required for the temperature at the center of any single specimen to be reduced from 37 to 3°F (2.8 to -16.1°C) shall be not less than one half of the length of the cooling period, and the time required for the temperature at the center of

any single specimen to be raised from 3 to 37°F (−16.1 to 2.8°C) shall be not less than one half of the length of the heating period. For specimens to be compared with each other, the time required to change the temperature at the centers of any specimens from 35 to 10°F (1.7 to −12.2°C) shall not differ by more than one sixth of the length of the cooling period from the time required for any specimen and the time required to change the temperature at the centers of any specimens from 10 to 35°F (−12.2 to 1.7°C) shall not differ by more than one third of the length of the heating period from the time required for any specimen.

NOTE 5—In most cases, uniform temperature and time conditions can be controlled most conveniently by maintaining a capacity load of specimens in the equipment at all times. In the event that a capacity load of test specimens is not available, dummy specimens can be used to fill empty spaces. This procedure also assists greatly in maintaining uniform fluid level conditions in the specimen and solution tanks.

The testing of concrete specimens composed of widely varying materials and with widely varying thermal properties, in the same equipment at the same time, may not permit adherence to the time-temperature requirements for all specimens. It is advisable that such specimens be tested at different times and that appropriate adjustments be made to the equipment.

5.3 The difference between the temperature at the center of a specimen and the temperature at its surface shall at no time exceed 50°F (27.8°C).

5.4 The period of transition between the freezing-and-thawing phases of the cycle shall not exceed 10 min, except when specimens are being tested in accordance with 8.2.

6. Sampling

6.1 Constituent materials for concrete specimens made in the laboratory shall be sampled using applicable standard methods.

6.2 Samples cut from hardened concrete are to be obtained in accordance with Practice C 823.

7. Test Specimens

7.1 The specimens for use in this test method shall be prisms or cylinders made and cured in accordance with the applicable requirements of Method C 192 and Specification C 490.

7.2 Specimens used shall not be less than 3 in. (76 mm) nor more than 5 in. (127 mm) in width, depth, or diameter, and not less than 11 in. (279 mm) nor more than 16 in. (406 mm) in length.

7.3 Test specimens may also be cores or prisms cut from hardened concrete. If so, the specimens should not be allowed to dry to a moisture condition below that of the structure from which taken. This may be accomplished by wrapping in plastic or by other suitable means. The specimens so obtained shall be furnished with gage studs in accordance with Test Method C 341.

7.4 For this test the specimens shall be stored in saturated lime water from the time of their removal from the molds until the time freezing-and-thawing tests are started. All specimens to be compared with each other initially shall be of the same nominal dimensions.

8. Procedure

8.1 Immediately after the specified curing period (Note 6), bring the specimen to a temperature within −2°F and +4°F

(−1.1°C and + 2.2°C) of the target thaw temperature that will be used in the freeze-thaw cycle and test for fundamental transverse frequency, weigh, determine the average length and cross section dimensions of the concrete specimen within the tolerance required in Test Method C 215, and determine the initial length comparator reading (optional) for the specimen with the length change comparator. Protect the specimens against loss of moisture between the time of removal from curing and the start of the freezing-and-thawing cycles.

NOTE 6—Unless some other age is specified, the specimens should be removed from curing and freezing-and-thawing tests started when the specimens are 14 days old.

8.2 Start freezing-and-thawing tests by placing the specimens in the thawing water at the beginning of the thawing phase of the cycle. Remove the specimens from the apparatus, in a thawed condition, at intervals not exceeding 36 cycles of exposure to the freezing-and-thawing cycles, test for fundamental transverse frequency and measure length change (optional) with the specimens within the temperature range specified for the tempering tank in 4.6, weigh each specimen, and return them to the apparatus. To ensure that the specimens are completely thawed and at the specified temperature place them in the tempering tank or hold them at the end of the thaw cycle in the freezing-and-thawing apparatus for a sufficient time for this condition to be attained throughout each specimen to be tested. Protect the specimens against loss of moisture while out of the apparatus and turn them end-for-end when returned. For Procedure A, rinse out the container and add clean water. Return the specimens either to random positions in the apparatus or to positions according to some predetermined rotation scheme that will ensure that each specimen that continues under test for any length of time is subjected to conditions in all parts of the freezing apparatus. Continue each specimen in the test until it has been subjected to 300 cycles or until its relative dynamic modulus of elasticity reaches 60 % of the initial modulus, whichever occurs first, unless other limits are specified (Note 7). For the optional length change test, 0.10 % expansion may be used as the end of test. Whenever a specimen is removed because of failure, replace it for the remainder of the test by a dummy specimen. Each time a specimen is tested for fundamental frequency (Note 8) and length change, make a note of its visual appearance and make special comment on any defects that develop. When it is anticipated that specimens may deteriorate rapidly, they should be tested for fundamental transverse frequency and length change (optional) at intervals not exceeding 10 cycles when initially subjected to freezing and thawing.

NOTE 7—It is not recommended that specimens be continued in the test after their relative dynamic modulus of elasticity has fallen below 50 %.

NOTE 8—It is recommended that the fundamental longitudinal frequency be determined initially and as a check whenever a question exists concerning the accuracy of determination of fundamental transverse frequency, and that the fundamental torsional frequency be determined initially and periodically as a check on the value of Poisson's ratio.

8.3 When the sequence of freezing-and-thawing cycles must be interrupted store the specimens in a frozen condition.

NOTE 9—If, due to equipment breakdown or for other reasons, it becomes necessary to interrupt the cycles for a protracted period, store the specimens in a frozen condition in such a way as to prevent loss of moisture. For Procedure A, maintain the specimens in the containers and surround them by ice, if possible. If it is not possible to store the specimens in their containers, wrap and seal them, in as wet a condition as possible, in moisture-proof material to prevent dehydration and store in a refrigerator or cold room maintained at $0 \pm 3^{\circ}\text{F}$ ($-17.8 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$). Follow the latter procedure when Procedure B is being used. In general, for specimens to remain in a thawed condition for more than two cycles is undesirable, but a longer period may be permissible if this occurs only once or twice during a complete test.

9. Calculations

9.1 *Relative Dynamic Modulus of Elasticity*—Calculate the numerical values of relative dynamic modulus of elasticity as follows:

$$P_c = (n_1^2/n^2) \times 100$$

where:

- P_c = relative dynamic modulus of elasticity, after c cycles of freezing and thawing, percent,
- n = fundamental transverse frequency at 0 cycles of freezing and thawing, and
- n_1 = fundamental transverse frequency after c cycles of freezing and thawing.

NOTE 10—This calculation of relative dynamic modulus of elasticity is based on the assumption that the weight and dimensions of the specimen remain constant throughout the test. This assumption is not true in many cases due to disintegration of the specimen. However, if the test is to be used to make comparisons between the relative dynamic moduli of different specimens or of different concrete formulations, P_c as defined is adequate for the purpose.

9.2 *Durability Factor*—Calculate the durability factor as follows:

$$DF = PN/M$$

where:

- DF = durability factor of the test specimen,
- P = relative dynamic modulus of elasticity at N cycles, %,
- N = number of cycles at which P reaches the specified minimum value for discontinuing the test or the specified number of cycles at which the exposure is to be terminated, whichever is less, and
- M = specified number of cycles at which the exposure is to be terminated.

9.3 *Length change in Percent (optional)*—Calculate the length change as follows:

$$L_c = \frac{(l_2 - l_1)}{L_g} \times 100$$

where:

- L_c = length change of the test specimen after C cycles of freezing and thawing, %,
- l_1 = length comparator reading at 0 cycles,
- l_2 = length comparator reading after C cycles, and
- L_g = the effective gage length between the innermost ends of the gage studs as shown in the mold diagram in Specification C 490.

10. Report

10.1 The report shall include such of the following data as are pertinent to the variables or combination of variables studied in the tests:

10.2 *Properties of Concrete Mixture:*

10.2.1 Type and proportions of cement, fine aggregate, and coarse aggregate, including maximum size and grading (or designated grading indices), and ratio of net water content to cement.

10.2.2 Kind and proportion of any addition or admixture used.

10.2.3 Air content of fresh concrete.

10.2.4 Unit weight of fresh concrete.

10.2.5 Consistency of fresh concrete.

10.2.6 Air content of the hardened concrete, when available.

10.2.7 Indicate if the test specimens are cut from hardened concrete, and if so, state the size, shape, orientation of the specimens in the structure, and any other pertinent information available.

10.2.8 Curing period.

10.3 *Mixing, Molding, and Curing Procedures*—Report any departures from the standard procedures for mixing, molding, and curing as prescribed in Section 7.

10.4 *Procedure*—Report which of the two procedures was used.

10.5 *Characteristics of Test Specimens:*

10.5.1 Dimensions of specimens at 0 cycles of freezing and thawing,

10.5.2 Weight of specimens at 0 cycles of freezing and thawing,

10.5.3 Nominal gage length between embedded ends of gage studs, and

10.5.4 Any defects in each specimen present at 0 cycles of freezing and thawing.

10.6 *Results:*

10.6.1 Values for the durability factor of each specimen and for the average durability factor for each group of similar specimens, and the specified values for minimum relative dynamic modulus and maximum number of cycles (Note 11),

10.6.2 Values for the percent length change of each specimen and for the average percent length change for each group of similar specimens (Note 11).

10.6.3 Values of weight loss or gain for each specimen and average values for each group of similar specimens, and

10.6.4 Any defects in each specimen which develop during testing, and the number of cycles at which such defects were noted.

NOTE 11—It is recommended that the results of the test on each specimen, and the average of the results on each group of similar specimens, be plotted as curves showing the value of relative modulus of elasticity or percent length change against time expressed as the number of cycles of freezing and thawing.

NOTE 12—No relationship has been established between the frost immunity of specimens cut from hardened concrete and specimens prepared in the laboratory.

11. Precision

11.1 *Within-Laboratory Precision (Single Beams)*—Criteria for judging the acceptability of durability factor results

TABLE 1 Within-Laboratory Durability Factor Precision for Single Beams

NOTE—The values given in Columns 2 and 4 are the standard deviations that have been found to be appropriate for Procedures A and B, respectively, for tests for which the average durability factor is in the corresponding range given in Column 1. The values given in Columns 3 and 5 are the corresponding limits that should not be exceeded by the difference between the results of two single test beams.

Range of Average Durability Factor	Procedure A		Procedure B	
	Standard Deviation ^A	Acceptable Range of Two Results ^A	Standard Deviation ^A	Acceptable Range of Two Results ^A
0 to 5	0.8	2.2	1.1	3.0
5 to 10	1.5	4.4	4.0	11.4
10 to 20	5.9	16.7	8.1	22.9
20 to 30	8.4	23.6	10.5	29.8
30 to 50	12.7	35.9	15.4	43.5
50 to 70	15.3	43.2	20.1	56.9
70 to 80	11.6	32.7	17.1	48.3
80 to 90	5.7	16.0	8.8	24.9
90 to 95	2.1	6.0	3.9	11.0
Over 95	1.1	3.1	2.0	5.7

^A These numbers represent the (1S) and (D2S) limits as described in Practice C 670.

obtained by the two procedures in the same laboratory on concrete specimens made from the same batch of concrete or from two batches made with the same materials are given in Table I. Precision data for length change (optional) are not available at this time.

NOTE 13—The between-batch precision of durability factors has been found to be the same as the within-batch precision. Thus the limits

given in this precision statement apply to specimens from different batches made with the same materials and mix design and having the same air content as well as to specimens from the same batch.

NOTE 14—The precision of this method for both procedures has been found to depend primarily on the average durability factor and not on the maximum *N* or minimum *P* specified for terminating the test nor on the size of the beams within limits. The data on which these precision statements are based cover maximum *N*'s from 100 to 300 cycles, and minimum *P*'s from 50 to 70 percent of *E_o*. The indexes of precision are thus valid at least over these ranges.

11.1.1 The different specimen sizes represented by the data include the following: 3 by 3 by 16-in.; 3 by 3 by 16¼-in.; 3 by 4 by 16-in.; 3½ by 4½ by 16-in.; 3 by 3 by 11-in.; and 3½ by 4 by 16-in.; and 4 by 3 by 16-in. The first dimension given represents the direction in which the specimens were vibrated in the test for fundamental transverse frequency. The most commonly used size was 3 by 4 by 16-in.

11.2 *Within-Laboratory Precision (Averages of Two or More Beams)*—Specifications sometimes call for comparisons between averages of two or more beams. Tables 2 and 3 give appropriate standard deviations and acceptable ranges for the two procedures for two averages of the number of test beams shown.

11.3 *Multilaboratory Precision*—No data are available for evaluation of multilaboratory precision. It is believed that a multilaboratory statement of precision is not appropriate because of the limited possibility that two or more laboratories will be performing freezing-and-thawing tests on the same concretes.

TABLE 2 Within-Laboratory Durability Factor Precision for Averages of Two or More Beams—Procedure A

Range of Average Durability Factor	Number of Beams Averaged									
	2		3		4		5		6	
	Standard Deviation ^A	Acceptable Range ^A	Standard Deviation ^A	Acceptable Range ^A	Standard Deviation ^A	Acceptable Range ^A	Standard Deviation ^A	Acceptable Range ^A	Standard Deviation ^A	Acceptable Range ^A
0 to 5	0.6	1.6	0.5	1.3	0.4	1.1	0.4	1.0	0.3	0.9
5 to 10	1.1	3.1	0.9	2.5	0.8	2.2	0.7	2.0	0.6	1.8
10 to 20	4.2	11.8	3.4	9.7	3.0	8.4	2.7	7.5	2.4	6.8
20 to 30	5.9	16.7	4.8	13.7	4.2	11.8	3.7	10.6	3.4	9.7
30 to 50	9.0	25.4	7.4	20.8	6.4	18.0	5.7	16.1	5.2	14.7
50 to 70	10.8	30.6	8.8	25.0	7.6	21.6	6.8	19.3	6.2	17.6
70 to 80	8.2	23.1	6.7	18.9	5.8	16.4	5.2	14.6	4.7	13.4
80 to 90	4.0	11.3	3.3	9.2	2.8	8.0	2.5	7.2	2.3	6.5
90 to 95	1.5	4.2	1.2	3.5	1.1	3.0	0.9	2.7	0.9	2.4
Above 95	0.8	2.2	0.6	1.8	0.5	1.5	0.5	1.4	0.4	1.3

^A These numbers represent the (1S) and (D2S) limits as described in Practice C 670.

TABLE 3 Within-Laboratory Durability Factor Precision for Averages of Two or More Beams—Procedure B

Range of Average Durability Factor	Number of Beams Averaged									
	2		3		4		5		6	
	Standard Deviation ^A	Acceptable Range ^A	Standard Deviation ^A	Acceptable Range ^A	Standard Deviation ^A	Acceptable Range ^A	Standard Deviation ^A	Acceptable Range ^A	Standard Deviation ^A	Acceptable Range ^A
0 to 5	0.8	2.1	0.6	1.8	0.5	1.5	0.5	1.4	0.4	1.2
5 to 10	2.9	8.1	2.3	6.6	2.0	5.7	1.8	5.1	1.7	4.7
10 to 20	5.7	16.2	4.7	13.2	4.1	11.5	3.6	10.3	3.3	7.4
20 to 30	7.4	21.0	6.1	17.2	5.3	14.9	4.7	13.3	4.3	12.2
30 to 50	10.9	30.8	8.9	25.1	7.7	21.8	6.9	19.5	6.3	17.8
50 to 70	14.2	40.2	11.6	32.9	10.1	28.5	9.0	25.5	8.2	23.2
70 to 80	12.1	34.2	9.9	27.9	8.5	24.2	7.6	11.6	7.0	19.7
80 to 90	6.2	17.6	5.0	14.4	4.4	12.5	3.9	11.1	3.6	10.2
90 to 95	2.8	7.8	2.3	6.4	2.0	5.5	1.7	4.9	1.6	4.5
Above 95	1.4	4.1	1.2	3.3	1.0	2.9	0.9	2.6	0.8	2.3

^A These numbers represent the (1S) and (D2S) limits as described in Practice C 670.

ASTM DESIGNACION: C 39 - 86 (AASHTO T 22)

METODO ESTANDAR DE ENSAYO PARA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE ESPECIMENES CILINDRICOS DE CONCRETO

Esta sección está a cargo del Ing. Ricardo Burgos Oviedo, con la colaboración del cuerpo Asesor y Personal de CESICC
(Centro Salvadoreño de Información del Cemento y Concreto).

1. ALCANCE

1.1 Este Método cubre la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto tales como cilindros moldeados y núcleos. Está limitado al concreto que tenga un peso unitario mayor de 50 lb/ft³ (800 kg/m³).

1.2 Los valores estipulados en libras-pulgadas deben ser considerados como las unidades estándar.

1.3 Esta norma puede involucrar materiales, operaciones y equipos peligrosos. Esta norma no pretende dar todas las direcciones de los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien use esta norma consultar y establecer la seguridad apropiada, prácticas sanas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias prioritarias para su uso.

2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS

2.1 Estándares ASTM:

C 31 Práctica para elaboración y curado de especímenes de concreto en el campo.

C 42 Obtención y ensayo de núcleos y vigas de concreto aserradas de concreto.

C 192 Método de elaboración y curado de especímenes de concreto, en el laboratorio.

C 617 Práctica para cabecear especímenes cilíndricos de concreto.

C 873 Método de ensayo para resistencia a la compresión del concreto colado en el lugar en moldes cilíndricos.

E 4 Práctica para verificación de la carga de máquinas de ensayo.

E 74 Práctica para calibración de instrumentos de medición de fuerza para verificar el indicador de carga de Máquinas de Ensayo.

2.2 Otras:

Manual de Agregados y Ensayo al Concreto

3. SUMARIO DEL METODO

3.1 Este Método de Ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión al cilindro moldeado o núcleo, a una razón que está dentro del rango prescrito antes de que la falla ocurra. El esfuerzo de compresión del espécimen es calculado dividiendo la carga máxima obtenida durante el ensayo por el área de la sección transversal del espécimen.

círculos concéntricos de no más que 1/32 pulg. (0.8 mm) de profundidad y no más que 3/64 pulg. (1.2 mm) de ancho serán inscritos para facilitar su propio centrado.

Nota 2. Es deseable que las caras de carga de las placas usadas para el ensayo de compresión del concreto tenga una dureza Rockwell no menor de 55 HRC.

5.2.1 La placa de carga inferior cumplirá con los siguientes requisitos:

5.2.1.1 La placa de carga inferior esta especificado para el propósito de proveer una superficie lisa endurecida para mantener la condición superficial especificada (Nota 3). Las caras superiores e inferiores deberán ser paralelas una a la otra. Las placas pueden ser sostenidas a la plataforma de la Máquina de Ensayo. Su dimensión horizontal será al menos 3% mayor que el diámetro del espécimen a ensayar. Círculos concéntricos como los descritos en 5.2 son opcionales en la placa superior.

5.2.1.2 El concentrado final puede ser hecho con referencia al bloque esférico superior. Cuando el bloque de carga inferior es usado para ayudar en el centrado del espécimen, el centro de los anillos concéntricos, cuando se provea, o el centro del bloque mismo puede estar directamente bajo el centro del cabezal esférico. Provisionalmente puede ser hecha en la placa de la Máquina para asegurar una posición fija.

5.2.1.3 El bloque de carga inferior será de al menos 1 pulg. (25 mm) de espesor cuando nuevo, y al menos 0.9 pulg. (22.5 mm) de espesor después de algunas operaciones.

Nota 3. Si la Máquina de Ensayo está diseñada para que la placa pueda mantenerse lista en la condición de contacto especificada, el bloque inferior no es requerido.

5.2.2 El bloque de carga con asiento esférico estará de acuerdo con los siguientes requisitos:

5.2.2.1 El diámetro máximo de la cara de carga del bloque con asiento esférico suspendido, no excederá los valores dados abajo:

Diámetro del espécimen de ensayo, pulg. (mm)	Diámetro máximo de la cara de carga, pulg. (mm)
2 (51)	4 (102)
3 (76)	5 (127)
4 (102)	6 1/2 (165)
6 (152)	10 (254)
8 (203)	11 (279)

Nota 4. Caras de carga cuadradas son permitidas, proporcionando el diámetro del círculo inscrito más grande posible, el cual no excederá el diámetro inferior.

5.2.2.2 El centro de la esfera coincidirá con la superficie de la cara de carga con una tolerancia de $\pm 5\%$ del radio de la esfera. El diámetro de la esfera será al menos 75% del diámetro del espécimen a ser ensayado.

5.2.2.3 La esfera y el soporte serán diseñados por el fabricante, para que el acero en el área de contacto no se deforme permanentemente bajo el uso repetido, con cargas mayores de 12,000 psi (82.7 MPa) en el espécimen de ensayo.

Nota 5. El área de contacto preferida es con

la forma de un anillo (descrita como área de carga preferida) como se muestra en la figura 1.

5.2.2.4 La superficie curvada del soporte y de la porción esférica estará limpia y lubricada con un aceite de tipo petróleo, tal como aceite de motor convencional y no con grasa de presión. No es deseable el contacto del espécimen con la ampliación de una pequeña carga inicial, más allá del acomodamiento de la placa con asiento esférico, no debe intentarse.

5.2.2.5 Si el radio de la esfera es menor que el radio del espécimen a ensayarse, la porción de la cara de carga extendida fuera de la parte esférica deberá tener un espesor no menor que la diferencia entre el radio de la esfera y el radio del espécimen. La menor dimensión de la cara de carga será al menos tan grande como el diámetro de la esfera (ver fig. 1).

5.2.2.6 La porción móvil del bloque de carga estará unida al asiento esférico, pero el diseño será tal que la cara de carga puede ser rotada libremente e inclinada al menos 4° en cualquier dirección.

5.3 Indicador de carga

5.3.1 Si la carga de una Máquina de Compresión usada en ensayos de concreto es registrada en un dial, éste estará provisto con una escala graduada que pueda ser leída con una precisión de 0.1% de la carga total. (Nota 6). El dial será leído con 1% de la carga indicada en algún nivel dado con el rango de carga. En ningún caso el

rango de carga del dial será considerado para incluir carga abajo del valor que es 100 veces el cambio menor de carga que puede ser leído en la escala. La escala será provista con una línea de graduación igual a cero y también numerada. El centro del dial será suficientemente largo para alcanzar las marcas de graduación; el espesor del extremo indicador no excederá la distancia libre entre las divisiones menores. Cada dial será equipado con un ajustador a cero que es fácilmente accesible desde la parte exterior de la caja del dial y con un dispositivo indicador de carga máxima que pueda ser removido todas las veces, indicará con una precisión de 1% la carga máxima aplicada al espécimen.

Nota 6. Tan cerca como pueda razonablemente ser leído es considerado 1/32" (0.8 mm). A lo largo del arco descrito por el extremo del indicador.

5.3.2 Si la carga de la Máquina de Ensayo esta indicada en forma digital, la representación visual numérica debe ser suficientemente larga para ser leída fácilmente. El incremento numérico debe ser igual o menor que 0.10% de la escala completa de un rango de carga dado. En ningún caso el rango de carga verificado incluirá cargas menores que el mínimo incremento numérico multiplicado por 100. La precisión de la carga indicada puede ser con 1.0% para algún valor desplegado con el rango de carga al verdadero cero del indicador. Se proveerá un indicador de carga máxima, el cual todas las veces será montado de nuevo, indicando con 1% del sistema de precisión, la máxima carga aplicada al espécimen.

4. SIGNIFICADO Y USO

4.1 Se necesita ser cuidadoso en la interpretación del significado para determinar la resistencia a la compresión por este Método de Ensayo, porque la resistencia no es una propiedad fundamental o intrínseca del concreto hecho con materiales dados. Los valores obtenidos dependerán del tamaño y forma del espécimen, bachada, procedimiento de mezclado, los métodos de muestreo, moldeo, fabricación y edad, temperatura, condiciones de humedad durante el curado.

4.2 Este Método de Ensayo puede ser usado para determinar el esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos preparados y curados de acuerdo con los métodos C 31, C 42 y C 192, Práctica C 617 y Método de Ensayo C 873.

4.3 Los resultados de este Método de Ensayo pueden ser usados como una base para el control de calidad de las operaciones de proporcionamiento, mezclado y colocación del concreto; determinación de concordancia con la especificación, control para evaluación de efectividad de las mezclas y usos similares.

5. APARATOS

5.1 Máquina de Ensayo.- La Máquina de Ensayo será de un tipo que tenga suficiente capacidad y que pueda proporcionar la razón de carga prescrita en 7.5

5.1.1 Se requiere la verificación de la calibración en las Máquinas de Ensayo de acuerdo con la práctica E 4 bajo las siguientes condiciones

5.1.1.1 Después de transcurrir un inter-

valo desde la verificación previa de 18 meses máximo, pero preferiblemente después de un intervalo de 12 meses.

5.1.1.2 En instalación original o reubicación de la Máquina

5.1.1.3 Inmediatamente después de hacer una reparación o ajuste, la cual puede en alguna forma afectar la operación del sistema de pesado o los valores visualizados, excepto para ajustes del cero, que será compensado por el peso de la herramienta, o del espécimen, o de ambos.

5.1.1.4 Cuando hay una razón para dudar de la precisión de los resultados, sin considerar el intervalo de tiempo desde la última verificación.

5.1.2 Diseño.- El diseño de la Máquina puede incluir las siguientes características:

5.1.2.1 La Máquina puede ser operada con energía y aplicará la carga continuamente, más bien que intermitentemente y sin choque. Si ésta tiene únicamente una razón de carga (reuniendo los requisitos de 7.5) estará provista de medios suplementarios para cargar a una razón apropiada para verificación. Estos medios suplementarios de carga pueden ser operados por energía o manualmente.

5.1.2.2 El espacio provisto para el ensayo del espécimen será largo, suficiente para acomodar en la posición requerida, un dispositivo de calibración elástico, el cual es de suficiente capacidad para cubrir el rango de carga potencial de la Máquina de Ensayo y que cumpla con los requisitos de la práctica E 74.

Nota 1. El tipo de dispositivo para calibración elástica está disponible generalmente

y es común usar para este propósito el anillo de carga circular.

5.1.3 Precisión- La precisión de la Máquina de Ensayo estará de acuerdo con las siguientes provisiones:

5.1.3.1 El porcentaje de error para las cargas con el rango de uso propuesto para la Máquina de Ensayo no deberá exceder $\pm 1.0\%$ de la carga indicada.

5.1.3.2 La precisión de la Máquina de Ensayo deberá ser verificada mediante la aplicación de cinco ensayos de carga en aproximadamente cuatro incrementos iguales en orden ascendente. La diferencia entre dos ensayos de carga sucesivos no deberá exceder un tercio de la diferencia entre el máximo y el mínimo ensayo de carga.

5.1.3.3 La carga indicada por la Máquina de Ensayo y la carga aplicada calculada de las lecturas de verificación, deberán ser registradas en cada punto de ensayo. Calcule el error, E, y el porcentaje de error, Ep, para cada punto de esos datos como sigue:

$$E = A - B$$

$$E_p = 100 (A-B) / B$$

Donde:

A = Carga, lbs. (N) indicado por la máquina que se esta verificando

B = Carga Aplicada, lbs. (N) indicando por el aparato de calibración

5.1.3.4 El informe de la verificación de una Máquina de Ensayo establecerá con qué rango de carga fue encontrada confor

me a los requerimientos de la especificación, en vez de informar un cubrimiento de aceptación o rechazo. En ningún caso el rango de carga deberá ser declarado como incluyendo cargas abajo del valor, el cual es 100 veces el menor cambio de carga que puede ser estimado en el mecanismo indicador de carga de la Máquina de Ensayo o cargas contenidas en la porción del rango por debajo del 10% del máximo rango de capacidad.

5.1.3.5 En ningún caso el rango de carga será declarado como incluyendo cargas fuera del rango de cargas aplicadas durante el ensayo de verificación.

5.1.3.6 La carga indicada por una Máquina de Ensayo no deberá ser corregida por cálculo o por el uso de un diagrama de calibración para obtener valores con la requerida variación permisible.

5.2 La Máquina de Ensayo estará equipada con dos placas de carga metálicas, con caras endurecidas (Nota 2), una de las cuales tendrá asiento esférico y se apoyará en la parte superior del espécimen y la otra será una placa rígida donde descansará el espécimen. Las caras de carga de las placas tendrán una dimensión mínima de al menos 3% mayor que el diámetro del espécimen a ser ensayado. Excepto por los círculos concéntricos descritos adelante, las caras de carga no deberán diferir de un plano por más de 0.001 pulg. (0.025 mm) en placas de 6 pulg. (152 mm) de diámetro o mayores, o por más de 0.001 pulg. en el diámetro de cualquier bloque menor; las placas nuevas deberán ser fabricadas con la mitad de éstas tolerancias. Cuando el diámetro de la cara de carga de la placa con asiento esférico exceda al diámetro del espécimen por más de 1/2 pulg. (13 mm),

6. ESPECIMENES

6.1 Los especímenes no serán ensayados si el diámetro individual de algún cilindro difiere de otro diámetro del mismo cilindro por más del 2%

Nota 7. Esto puede ocurrir cuando se usan moldes descartables y son dañados o deformados durante el transporte, cuando moldes descartables flexibles son deformados durante el moldeo o cuando un núcleo se curva durante el taladrado.

6.2 Ningún extremo del espécimen para ensayo de compresión saldrá de la perpendicularidad al eje por más de 0.5° (aproximadamente equivale a 1/8" en 12" ó 3mm en 300mm). Los extremos del espécimen para ensayo de compresión que difiere del plano en más de 0.002" (0.50mm) deberán cabecearse de acuerdo con la práctica C 617 o pueden ser cortados para encontrar esa tolerancia. El diámetro usado para calcular el área de la sección transversal del espécimen, será determinado con una precisión de 0.01" (0.25 mm) promediando dos diámetros medidos en ángulo recto sobre la mitad de la altura del espécimen.

6.3 El número de medidas en cilindros individuales para la determinación del diámetro promedio puede ser reducida a una por cada diez especímenes o tres especímenes por día, la que sea mayor, si se conoce que todos los cilindros han sido hechos de un mismo lote de moldes reusables o descartables los cuales consistentemente producen especímenes con diámetro promedio con un rango de 0.02

pulg. (0.51 mm). Cuando el diámetro promedio no cae en el rango de 0.02 pulg. o cuando los cilindros no son hechos de un mismo lote de moldes, cada cilindro ensayado deberá ser medido y este valor usado en el cálculo de la resistencia a la compresión unitaria de ese espécimen. Cuando los diámetros son medidos con la frecuencia reducida, el área de la sección transversal de todos los cilindros ensayados en ese día deberá ser calculado del promedio de los diámetros de tres o más cilindros representativos del grupo ensayado ese día.

6.4 La longitud deberá ser medida con una precisión de 0.05D cuando la relación longitud/diámetro es menor que 1.8, o más que 2.2, o cuando el volumen del cilindro es determinado de las dimensiones medidas.

7. PROCEDIMIENTO

7.1 Los ensayos de compresión de especímenes curados en húmedo serán hechos tan pronto sea práctico, después de removerlo del lugar del curado.

7.2 Los especímenes de ensayo estarán guardando la humedad por algún método conveniente durante el período entre la remoción del lugar de curado y el ensayo. Serán ensayados en condición húmeda.

7.3 Todos los especímenes de ensayo para una edad dada, serán rotos con las tolerancias de tiempo permisibles prescritas a continuación:

Edad de Ensayo	Tolerancia Permisible
24 horas	± 0.5 h. o 2.1%
3 días	2 h. o 2.8%
7 días	6 h. o 3.6%
28 días	20 h. o 3.0%
90 días	2 días o 2.2%

7.4 Colocación del Especímen.- Coloque la placa inferior, con su cara endurecida hacia arriba, sobre la mesa o bloque de la máquina de ensayo, directamente abajo de la placa de apoyo con asiento esférico. Limpiar las superficies de apoyo de las placas superior e inferior y del espécimen de ensayo, colocando el espécimen con el centro de carga de la placa con asiento esférico. Mientras la placa superior baja sobre el espécimen, girar lentamente su porción móvil con la mano, para obtener un contacto uniforme.

7.5 Razón de carga.- Aplicar la carga continuamente y sin impactos.

7.5.1 Para Máquinas de ensayo de tipo Tornillo, el movimiento del cabezal viajará a una razón de aproximadamente 0.05 pulg. (1.3 mm) /minuto cuando la máquina corre libre. Para máquinas operadas hidráulicamente la carga será aplicada a una razón de movimiento (medida de la placa sobre la sección del cabezal) correspondiendo a la velocidad de aplicación de carga en el espécimen con el rango de 20 a 50 psi/seg (0.14 a 0.34 MPa/s). La razón de movimiento designada deberá mantenerse al menos durante la última mitad de la fase de carga prevista en el ciclo de ensayo.

7.5.2 Durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga prevista, será

permitida una razón mayor de carga.

7.5.3 No efectuar ajustes en la razón de movimiento de la placa en ningún momento, cuando el espécimen está en fluencia rápida e inmediatamente antes de la falla.

7.6 Aplicar la carga hasta que el espécimen falle y anote la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo. Note el tipo de falla y apariencia del concreto.

8. CALCULOS

8.1 Calcule el esfuerzo de compresión del espécimen dividiendo la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo por el área de la sección transversal promedio determinada como se describe en la sección 6 y exprese el resultado con una precisión de 10 psi (69 KPa)

8.2 Si la relación L/D es menor que 1.8 corrija el resultado obtenido en 8.1 multiplicando por el apropiado factor de corrección mostrado en la siguiente tabla:

L/D	1.75	1.50	1.25	1.00
factor	0.98	0.96	0.93	0.87 (Nota 8)

Nota 8. Estos factores de corrección se aplican a concreto de peso ligero pesando entre 100 y 120 lb/ft³ (1600-1920 kg/m³) y a concreto de peso normal. Son aplicables a concreto seco remojado al momento del ensayo. Los valores que no se dan en la tabla deberán ser determinados por interpolación. Los factores de corrección son aplicables para resistencias nominales del concreto de 2000 a 6000 psi (13.8 a 41.4 MPa)

9. INFORME

9.1 El informe deberá incluir lo siguiente:

9.1.1 Número de identificación

9.1.2 Diámetro (y longitud si está fuera del rango 1.8 D a 2.2 D) en pulgadas o milímetros.

9.1.3 Area de la sección transversal, en pulg² o cm²

9.1.4 Carga máxima, en libras fuerza o newtons.

9.1.5 Esfuerzo de compresión, calculado

con una precisión de 10 psi o 69 KPa.

9.1.6 Tipo de fractura, si es diferente que el cono usual (ver fig. 2)

9.1.7 Defectos en el espécimen o en el cabeceado, y

9.1.8 Edad del espécimen

10. PRECISION

10.1 La precisión de este método de ensayo no ha sido determinada todavía, pero la información está siendo colectada, y una precisión declarada será incluida cuando sea formulada.

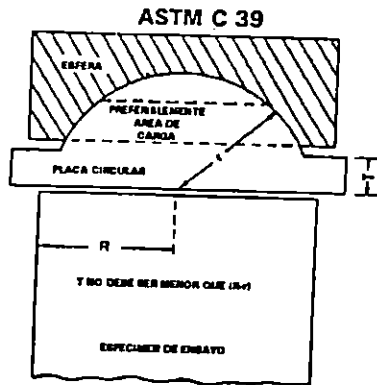


FIG. 1 Esquema de un Bloque de Carga Esférico Típico

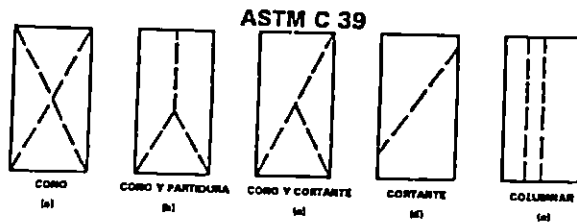


FIG. 2 Esquema de Tipos de Fractura

METODO ESTANDAR DE ENSAYO PARA RESISTENCIA AL DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO DE TAMAÑO MENOR POR ABRASION E IMPACTO EN LA MAQUINA LOS ANGELES

Esta sección está a cargo del Ing. Ricardo Burgos Oviedo, con la colaboración del cuerpo Asesor y personal de CESIC (Centro Salvadoreño de Información del Cemento y Concreto).

1. ALCANCE.

- 1.1. Este método cubre un procedimiento para ensayar agregado grueso de tamaño más pequeño que 1 1/2 pulgada (37.5 mm) por resistencia al desgaste usando la máquina Los Angeles.

Nota 1. Un procedimiento para ensayo de agregado grueso mayor de 3/4 pulgada (19 mm) es cubierto en el método de ensayo C 535.

2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS.

2.1 Normas ASTM:

- C 136 Método para Análisis por malla del Agregado Fino y grueso.
C 535 Método de Ensayo para resistencia al desgaste del Agregado Grueso de tamaño grande por abrasión e impacto en la máquina Los Angeles.

C 670 Práctica para preparación de los términos Precisión y Métodos de Ensayo para materiales de construcción.

C 702 Práctica para reducir muestras de campo a tamaños de ensayo en los Agregados.

D 75 Práctica para Muestreo de Agregados.

E 11 Especificación para mallas de alambre para propósitos de ensayo.

3. RESUMEN DEL METODO.

- 3.1. El ensayo Los Angeles es una medida del

desgaste en agregados minerales de graduación normal, resultando de una combinación de acciones incluyendo abrasión o reducción, impacto y trituración en un tambor rotatorio de acero conteniendo un especificado número de esferas de acero, el número depende de la graduación de la muestra de ensayo. Como el tambor es rotativo, una placa recoge la muestra y las esferas de acero, llevándolas alrededor hasta que se dejan caer en el lado opuesto del tambor, creando un efecto de trituración por impacto. Entonces, el contenido circula dentro del tambor con una acción abrasiva y trituradora hasta que la placa de arrastre impacte y el ciclo se repita. Después de un número prescrito de revoluciones, el contenido es removido del tambor y la porción de agregado es tamizado para medir el desgaste como porcentaje perdido.

4. SIGNIFICADO Y USO.

- 4.1. El ensayo Los Angeles ha sido usado extensamente como un indicador de la calidad relativa o competencia de varias fuentes de agregados teniendo una composición mineral similar. Los resultados no permiten automáticamente una comparación válida para ser hecha entre fuentes distintas o diferentes en origen, composición o estructura. Los límites de la especificación basados en este ensayo pueden ser asignados con extremo cuidado en consideración del tipo de agregados disponibles y la historia de su desempeño en usos específicos.

5. APARATOS.

- 5.1. Máquina de Los Angeles - Deberá usarse la máquina de ensayo al desgaste Los Angeles, conforme a todas sus características esenciales al diseño mostrada en la figura 1. La máquina consistirá en un cilindro hueco de acero, cerrado en ambos extremos, teniendo un diámetro interno de 28 ± 0.2 pulgadas (711 ± 5 mm) y una longitud interna de 20 ± 0.2 pulgadas (508 ± 5 mm). El cilindro debe estar montado en ejes parciales instalados en los extremos del cilindro pero sin entrar en él, estará montado de tal manera que pueda ser girado con el eje en posición horizontal con una tolerancia en inclinación de 1 en 100. Estará provista de una abertura en el cilindro para la introducción de la muestra de ensayo. Para la abertura se ha de proveer una cubierta adecuada hermética al polvo con medios para empernarla en el lugar. La cubierta estará diseñada como para mantener el contorno cilíndrico de la superficie interna, a menos que la placa de acero que arrastra el material en cada vuelta este localizada de modo que la carga no caiga en la cubierta o quede en contacto con ella durante el ensayo. Una placa de acero removible que se extiende en toda la longitud del cilindro y se proyecta internamente 3.5 ± 0.1 pulg. (89 ± 2) será montado en el interior de la superficie cilíndrica. De tal manera que en un plano centrado entre las caras coincida con un plano axial. La placa será de un espesor determinado y se montará con pernos u otro medio apropiado, para estar firme y rígida. La posición de la placa será tal que la distancia de la platina a la abertura, medido a lo largo de la circunferencia exterior del cilindro en la dirección de rotación, no sea menor de 50 pulgadas (1.27 m).

Nota 2. Es preferible el uso de una platina de arrastre de acero resistente al desgaste, de sección rectangular y montada independiente de la cubierta. Sin embargo puede usarse una platina de arrastre consistente en una sección de angular laminado, montado apropiadamente en el interior de la placa de cubierta toda vez que la dirección de rotación sea tal que la carga sea atrapada en la cara exterior del angular. Si la platina

se vuelve distorsionada de su forma original, de tal manera que no cumple con los requisitos dados en X1.2 del apéndice de este método, la platina será reparada o reemplazada antes de hacer ensayos adicionales.

- 5.1.1. La máquina será manejada y contrabalanceada para mantener una velocidad periférica sustancialmente uniforme (Nota 3). Si una pieza angular es usada como platina, la dirección de rotación será tal que la carga es atrapada en la superficie exterior del angular.

Nota 3. La marcha lenta o deslizamiento en el mecanismo propulsor es muy probable que proporcione resultados diferentes a las de otra máquina Los Angeles con una velocidad periférica constante.

- 5.2. Mallas, de acuerdo a la especificación E 11.

- 5.3. Balanza - Una balanza o báscula adecuada con 0.1% del ensayo de carga sobre el rango requerido para este ensayo.

- 5.4. Carga - La carga consistirá de esferas de acero promediando aproximadamente 1 27/32 pulgadas (46.8 mm) de diámetro y pesando cada una entre 390 y 445 gr.

- 5.4.1. La carga, dependiendo de la graduación de la muestra de ensayo, como se describe en la sección 7, será como sigue:

Graduación	No. de esferas	Peso de la Carga (gr.)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Nota 4. Bolas de acero con tamaños 1 13/16 pulgadas (46.0 mm) y 1 7/8 pulgadas (47.6 mm) de diámetro, pesando aproximadamente 400 y 440 gr. cada uno, respectivamente, están rápidamente disponible. Esferas de Acero de 1 27/32 pulgadas (46.8 mm) de diámetro, pesando aproximadamente 420 gr. pueden ser obtenidas. La carga puede consistir de una mezcla de

estos tamaños conforme a las tolerancias en peso de 5.4. y 5.4.1.

6. MUESTREO.

6.1. La muestra de campo será obtenida de acuerdo con la práctica D 75 y reducida a tamaño de ensayo de acuerdo con el método C 702.

7. MUESTRA DE ENSAYO.

7.1. La muestra de ensayo será lavada y secada al horno de 221 a 230°F (105 a 110 C) a sustancialmente peso constante (nota 5); separando en fracciones de tamaño individual y recombinando a la graduación de la Tabla 1, los que más cercanamente corresponden con el rango de tamaños en el agregado suministrado para la obra. El peso de la muestra a ensayar deberá ser registrado con una precisión de 1 gr.

8. PROCEDIMIENTO.

8.1. Colocar la muestra de ensayo y la carga en la máquina de ensayo Los Angeles y haga girar la máquina a una velocidad de 30 a 33 rpm hasta 500 revoluciones. Después del número de revoluciones prescritas, descargue el material de la máquina y haga una separación preliminar de la muestra en una malla más gruesa que 1.70 mm (No. 12). Tamice la porción más fina en una malla de 1.70 mm de una manera acorde con el método C 136. Lavar el material más grueso que la malla 1.70 mm (nota 5), secar al horno de 221 a 230°F (105 a 110°C) a sustancialmente peso constante y pesar con una precisión de 1 gr. (nota 6).

Nota 5. Si el agregado está esencialmente libre de capas adheridas y polvo, se puede desistir de los requisitos de lavado antes y después del ensayo. La eliminación del lavado después del ensayo, raras veces reducirán las pérdidas por más del 0.2% del peso original de la muestra.

Nota 6. Puede obtenerse información valiosa concerniente a la uniformidad de la muestra que se ensaya, mediante la determinación de las pérdidas

después de 100 revoluciones. Esta pérdida puede ser determinada sin lavar el material más grueso que la malla de 1.70 mm. La relación entre la pérdida después de 100 revoluciones y las pérdidas después de 500 revoluciones, no deberá exceder 0.20 para materiales de dureza uniforme. Cuando se haga esta determinación, se ha de tener cuidado para evitar la pérdida de alguna parte de la muestra; la muestra completa, incluyendo el polvo de desgaste, debe retornar a la máquina de ensayo para las 400 revoluciones finales, requeridas para completar el ensayo.

9. CALCULOS.

9.1. Expresar la pérdida (diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra de ensayo) como un porcentaje del peso original de la muestra de ensayo, informe este valor como el porcentaje de pérdida.

Nota 7. El porcentaje de desgaste determinado por este método no tiene ninguna relación consistente con el porcentaje de desgaste para el mismo material cuando es ensayado por el método de ensayo C 535.

10. PRECISION.

10.1. Para el tamaño nominal máximo del agregado grueso 19.0 mm (3/4 pulgadas), con el porcentaje de desgaste en el rango de 10 a 45%, el coeficiente de variación en laboratorio múltiple ha sido establecido en 4.5%. Por lo consiguiente, el resultado de dos ensayos conducidos, adecuadamente de dos laboratorios diferentes en muestras del mismo agregado grueso, no deben diferir del otro en más de 12.7% de su promedio. El coeficiente de variación para un operador simple ha sido establecido en 2.0%. Por lo consiguiente, resultados de dos ensayos conducidos adecuadamente por el mismo operador en el mismo agregado grueso. No deberá diferir de la otra en más de 5.7% de su promedio.

Estos números representan, respectivamente los límites (1S%) y (2S%) como se describe en la práctica C 670.

TABLA 1 GRADUACION DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Tamaño Malla (Aberturas Cuadradas)		Peso de los Tamaños indicados (gr)			
Pasa	Retenido	Grado			
		A	B	C	D
1 1/2" (37.5 mm)	1" (25.0 mm)	1 250 ± 25			
1" (25.0 mm)	3/4" (19.0 mm)	1 250 ± 25			
3/4" (19.0 mm)	1/2" (12.5 mm)	1 250 ± 10	2 500 ± 10		
1/2" (12.5 mm)	3/8" (9.5 mm)	1 250 ± 10	2 500 ± 10		
3/8" (9.5 mm)	1/4" (6.3 mm)			2 500 ± 10	
1/4" (6.3 mm)	No. 4 (4.75 mm)			2 500 ± 10	
No. 4 (4.75 mm)	No. 8 (2.38 mm)				5 000 ± 10
TOTAL		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

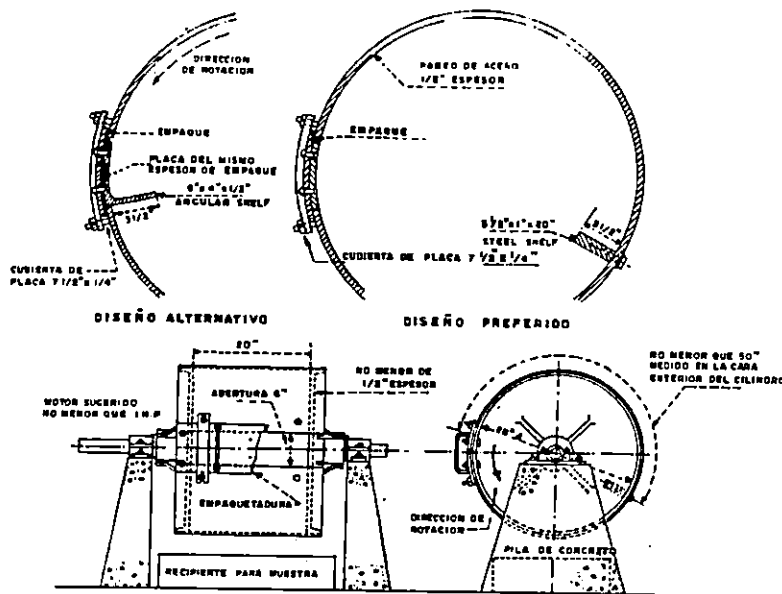


FIG. 1 - MAQUINA DE DESGASTE LOS ANGELES

		EQUIVALENCIAS METRICAS									
Pulg.	1/4"	1/2"	1"	3 1/2"	4"	6"	7 1/2"	20"	26"	50"	
mm.	6.4	12.7	25.4	89	102	152	190	508	711	1270	

BIBLIOGRAFIA.

ACI (201), "Durabilidad del concreto", Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., México D.F., cuarta reimpresión, 1988.

"Aditivos para concreto", Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., Editorial Limusa, primera impresión, México 1990.

"Análisis y Diseño por el Método ACI de Concreto Hidráulico para Diferentes Resistencias ". Melendez A. Yanira, y otros Tesis de graduación, Universidad Tecnológica, Sept. 1990.

Annual book of ASTM Standars; C.N. 40 - 10712, Easton, Md USA, 1971.

Annual Book of ASTM Standars, vol 04.02, Chicago, Agosto 1986.

"Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado", Oscar M. Gonzalez, F. Robles, J. Casillas, Roger Díaz Ed. Limusa, 6ª reimpresión, México, 1981.

"Calidad Pétreo de las Canteras que Abastecen el Area Metropolitana de San Salvador", Lizama A. Roxana, y otros, tesis de graduación, Universidad Tecnológica, Sept. 1990.

"Concreto de Gran Comportamiento (High-Performance Concrete)", Moreno Jaime, Revista ASIA nº106 Diciembre 1992.

Comite ACI 116, "Cement and Concrete Terminology SP-19 (78)", American Concrete Institute, Detroit 1978.

"Composición y Dosificación de hormigones de alta resistencia". Fernández Cánovas, Manuel y Alajeos Gutierrez Pilar, Revista Cemento y Hormigón No 709, agosto 1992 Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones.

"Diccionario Enciclopédico de términos Técnicos Inglés-Español Vol. 2", Collazo Javier L., Editorial Mc Graw-Hill, 8ª Impresión, México 1990.

"Diccionario Enciclopédico Oceano", Edición 1992, Editorial Oceano Gallach, Bogotá Colombia.

"Diseño y Control de Mezclas de Concreto", Instituto Mexicano del Cemento y del concreto A.C. Editorial IMCYC, Primera Impresión, México, 1992.

"Diseño de Mezclas de Concreto". Lagos Porfirio, curso teórico-práctico "Tecnología del Concreto", ASIA-FEPADE, 1992.

"Entrevista con el Ing. Carlos Varaona Villaseñor", Revista ASIA nº 94 Diciembre de 1989.

"High-Performance Concrete Demystified". Aitcin, Pierre Claude and Neville Adam, Revista: Concrete International, Enero 1993.

"Proyecto y Control de Mezclas de Concreto", Staff Portland Cement Association, Editorial Limusa, Primera Impresión, México, 1978.

"The effects of high-range water reducer on the properties of freshly mixed and hardened flowing concrete". Gebles S.H., (RD081.O1T). Portland Cement Association, 1982.

"Uso de la microslica en el Concreto", Prieto Méndez, Edgar O, Memorias técnicas tomo 4, tercera reunión del Concreto 1992, Asocreto Cartagena Colombia Septiembre 1992.