

TUES
1501
C962c
1998c
Ej. 2

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



**CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO:
CONSIDERACIONES BASICAS Y ECONOMICAS PARA SU
APLICACION**

PRESENTADO POR

**RICARDO CESAR CUBIAS CARCAMO
HENRY ARTURO MARTINEZ RODRIGUEZ
CARLOS MARIO RIVAS GRANADOS**

15101855 15101855

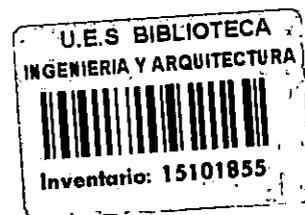
PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL



CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 1998

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



RECTOR : DR. JOSE BENJAMIN LOPEZ GUILLEN

SECRETARIO GENERAL : LIC. ENNIO ARTURO LUNA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO : ING. JOAQUIN ALBERTO VANEGAS AGUILAR

SECRETARIO : ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR : ING. LUIS RODOLFO NOSIGLIA DURAN

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

Trabajo de Graduación previo a la opción al grado de:

INGENIERO CIVIL

Título:

CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO:
CONSIDERACIONES BASICAS Y ECONOMICAS PARA SU APLICACION

Presentado por:

RICARDO CESAR CUBIAS CARCAMO
HENRY ARTURO MARTINEZ-RODRIGUEZ
CARLOS MARIO RIVAS GRANADOS

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Coordinador : **ING. CIRILO MENDEZ RAYMUNDO**

Asesor Externo : **ING. PORFIRIO LAGOS VENTURA**

San Salvador, Febrero de 1998

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Coordinador y Asesor :

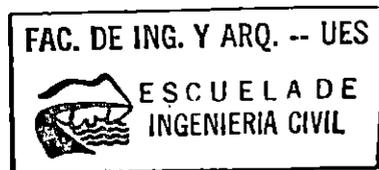


ING. CIRILO MENDEZ RAYMUNDO

Asesor Externo :



ING. PORFIRIO LAGOS VENTURA



EN MEMORIA DE

Ingeniero ROLANDO AMAYA DE LEON, quien fue uno de los pioneros en el estudio de los Concretos de Gran Comportamiento en EL SALVADOR.

RECONOCIMIENTOS

A nuestra Alma Mater "UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR", máximo centro de estudios, por proporcionarnos la formación académica y hacernos profesionales socialmente útiles al servicio de nuestro laborioso pueblo salvadoreño.

- AL ING. CIRILO MENDEZ RAYMUNDO.

Nuestro Coordinador y Asesor del Trabajo de Graduación, por su colaboración y orientación durante el desarrollo de la investigación.

- AL ING. PORFIRIO LAGOS VENTURA.

Nuestro Asesor Externo, que nos orientó en todo momento y nos dedicó parte de su valioso tiempo para la culminación del Trabajo de Investigación.

Además deseamos reconocer nuestros agradecimientos a todas aquellas personas e instituciones que hicieron posible el desarrollo y culminación de nuestro trabajo de investigación. Nuestros mas sinceros agradecimientos a las siguientes personas e instituciones:

- Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC)

por proporcionarnos la Bibliografía que sirvió de base para fundamentar la investigación sobre el Concreto de Gran Comportamiento.

- Cementos de El Salvador S.A. (CESSA)

Por suministrarnos el cemento Portland Tipo I (CESSA 5000). Usado en la Investigación.

- Concretera Salvadoreña

Especialmente al Ing. Gabriel Guevara, que mediante su gestión se nos proporciono los aditivos y los agregados.

- A Concrete Controls, Inc.

Específicamente al Ing. Joaquin Torres Villafañe, Vice-Presidente y Gerente General de Concrete Controls, Inc. Por suministrarnos el humo de sílice y orientarnos en la investigación.

- Al Ing. Kazumasa Ozawa, Profesor del laboratorio de concreto, departamento de Ing. Civil de la universidad de Tokio, Japón. Por facilitarnos información reciente sobre el desarrollo del Concreto de Gran Comportamiento.

- Laboratorio de Suelos y Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil de nuestra Universidad y a su equipo de laboratoristas.

- Instituto Técnico Centroamericano (ITCA), por prestarnos sus servicios de laboratorio de materiales.

A todos muchas gracias.

DEDICATORIA

Agradezco:

Al Padre Santo por todo su amor y bendiciones derramadas en mi vida, por su presencia misericordiosa en cada momento que ha dado el aliento de vida a mis pensamientos.

A MIS PADRES: Ricardo y Rosa Amelia, porque sus esfuerzos han sido para mi un modelo de lucha que siempre he tratado de seguir y porque siempre me han dado su comprensión y apoyo.

A MIS ABUELAS: Eulalia y Gregoria porque la historia de sus vidas ha estado siempre presente motivándome.

A MI HERMANOS: Lorenzo, Jesús, Benjamín, Pablo, Victor, David, Sandro, Boyita y Cecilia por su apoyo, cariño y confianza.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS: Henry y Carlos Mario porque compartimos los esfuerzos para realizar el trabajo.

A mis demás Familiares, a todos mis compañeros de estudio, amigos y profesores que no menciono por su nombre, pero que los recuerdo siempre y los aprecio mucho.

Ricardo César.

DEDICATORIA

Agradezco:

A Dios Todopoderoso y la Virgen María por permitirme finalizar mis estudios, al divino Maestro por iluminar mi pensamiento, además porque me han dado salud y fortaleza para seguir adelante.

A MI MADRE: María Raquel de Martínez, por haberme ayudado en todo momento en el transcurso de mi carrera y a quien dedico este triunfo.

A MI PADRE: Julio Martínez, por ser un padre ejemplar y ser un modelo a seguir por su espíritu emprendedor

A MI HERMANO: Julio Cesar, por su ayuda incondicional brindada en el transcurso de mi carrera. Gracias, hermano

A MIS HERMANOS: Hugo, David y Antonio, por apoyarme a seguir adelante

A MI NOVIA: Yolanda, Por su Amor, Paciencia y Comprensión.

A MI DEMAS FAMILIA: A quien aprecio y respeto.

A MIS COMPAÑEROS

DE TESIS: Ricardo Cesar y Carlos Mario.

Henry Martínez.

DEDICATORIA

Agradezco:

A **Dios**: porque de el viene la sabiduría, el conocimiento y la inteligencia. Por estar siempre a mi lado brindándome confianza, ayuda y bendiciones que me permitieron terminar mi carrera.

A MI MADRE: Que con su sacrificio y amor hizo posible este triunfo y porque siempre me ha guiado por el camino del bien, este triunfo es tuyo.

A MI HERMANA: Alicia María, por su ayuda, cariño y comprensión, que en ningún momento me faltaron.

A MI ABUELA MARIA: Por su infinito cariño y sus consejos que me han servido de mucho.

A MI TIA EDIS: Por su infinito cariño y sus consejos que me han servido de mucho.

A MI DEMAS FAMILIA: Que aunque no los menciono, los quiero mucho y siempre los tengo presentes.

A MIS COMPAÑEROS

DE TESIS: Ricardo Cesar y Henry Martínez.

Carlos Mario

INDICE

| CONTENIDO | PAG. |
|---|-------------|
| CAPITULO I: GENERALIDADES | |
| 1.1 INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.2 ANTECEDENTES | 3 |
| 1.3 JUSTIFICACION DEL TRABAJO | 11 |
| 1.4 DELIMITACIONES DEL TRABAJO | 14 |
| 1.5 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION | 16 |
| 1.6 OBJETIVOS | 19 |
| 1.7 ALCANCES DEL TRABAJO | 20 |
| 1.8 LIMITACIONES DEL TRABAJO | 21 |
| | |
| CAPITULO II: "CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO" | |
| 2.1 INTRODUCCIÓN | 22 |
| 2.2 CONCRETOS DE GRAN COMPORTAMIENTO | 23 |
| 2.2.1 DEFINICION | 23 |
| 2.2.2 CONCRETOS DE GRAN COMPORTAMIENTO Y ALTA RESISTENCIA | 27 |
| 2.3 TIPOS DE CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO. | 29 |
| 2.3.1 CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA | 31 |
| 2.3.2 CONCRETO LIGERO DE GRAN COMPORTAMIENTO | 31 |
| 2.3.3 CONCRETOS AUTOCOMPACTABLES DE GRAN COMPORTAMIENTO. | 31 |
| 2.3.4 CONCRETOS DE PESO PESADO DE GRAN COMPORTAMIENTO. | 32 |
| 2.4 CONCRETOS DE GRAN COMPORTAMIENTO EN AMBIENTES SEVEROS | 33 |
| 2.4.1 CAUSAS INTERNAS | 35 |
| 2.4.1-1 REACCIONES QUIMICAS EN LOS AGREGADOS. | 35 |
| 2.4.2 CAUSAS EXTERNAS | 44 |

| | |
|---|----|
| 2.4.2-1 ATAQUE QUIMICO AL CONCRETO | 44 |
| 2.4.2-2 ATAQUE FISICO AL CONCRETO. | 65 |
| 2.4.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL ATAQUE QUIMICO AL CONCRETO. | 67 |
| 2.5 CONSIDERACIONES BASICAS DE DISEÑO ESTRUCTURAL PARA EL USO DE CONCRETOS DE GRAN COMPORTAMIENTO EN ESTRUCTU- RAS. | 72 |
| 2.5.1 PROPIEDADES MECANICAS DEL CONCRETO DE GRAN COMPORTA- MIENTO. | 73 |
| 2.5.1-1 RESISTENCIA A LA COMPRESION UNIAXIAL. | 73 |
| 2.5.1-2 RESISTENCIA A LA TENSION UNIAXIAL. | 74 |
| 2.5.1-3 RESISTENCIA A LA FLEXION (MODULO DE RUPTURA). | 74 |
| 2.5.1-4 COMPORTAMIENTO EFUERZO-DEFORMACION EN COMPRESIÓN UNIAXIAL | 75 |
| 2.5.1-5 MODULO DE ELASTICIDAD. | 77 |
| 2.5.1-6 RELACIÓN DE POISSON. | 78 |
| 2.5.1-7 FLUENCIA. | 79 |
| 2.5.1-8 RETRACCION Y FLUJO PLASTICO. | 79 |
| 2.5.1-9 FRAGILIDAD. | 81 |
| 2.5.1-10 RESISTENCIA A LA FATIGA Y ADHERENCIA. | 83 |
| 2.5.2 INFLUENCIA DEL CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES. | 84 |
| 2.5.2-1 VIGAS Y LOSAS. | 84 |
| 2.5.2-2 COLUMNAS | 87 |
| 2.6 APLICACIONES DE LOS CONCRETOS DE GRAN COMPORTAMIENTO. | 90 |
| 2.6.1 APLICACIONES POTENCIALES. | 90 |
| 2.6.1-1 EDIFICIOS ALTOS. | 90 |
| 2.6.1-2 LOSAS. | 91 |
| 2.6.1-3 PUENTES Y PASARELAS PEATONALES. | 92 |
| 2.6.1-4 PAVIMENTOS | 93 |
| 2.6.1-5 ESTRUCTURAS DE CIMENTACION | 96 |
| 2.6.1-6 ELEMENTOS Y ESTRUCTURAS DE OBRAS HIDRAULICAS. | 97 |

| | |
|---|-----|
| 2.6.1-7 OBRAS MARITIMAS. | 99 |
| 2.6.1-8 ELABORACIÓN DE CONCRETO PREMEZCLADO. | 101 |
| 2.6.1-9 PREFABRICACION Y CONSTRUCCION DE ELEMENTOS DE CONCRETO PRESFORZADO. | 102 |
| 2.6.2 APLICACIONES VARIAS. | 106 |
| 2.6.2-1 INDUSTRIA QUIMICA. | 106 |
| 2.6.2-2 TORRES | 106 |
| 2.6.2.3 OTRAS OBRAS. | 106 |
| 2.7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS CONCRETOS DE GRAN COM- PORTAMIENTO. | 107 |
| 2.8 CONSIDERACIONES ECONOMICAS DEL CONCRETO DE GRAN COM- PORTAMIENTO. | 112 |
| 2.9 SITUACION ACTUAL DE LOS CONCRETOS DE GRAN COMPORTA- MIENTO EN EL SALVADOR. | 115 |
| CAPITULO III: TECNOLOGIA DEL CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO. | |
| 3.1 INTRODUCCIÓN | 123 |
| 3.2 COMPONENTES DEL CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO | 124 |
| 3.2.1 CEMENTO | 124 |
| 3.2.2 AGUA | 126 |
| 3.3.3 AGREGADOS | 128 |
| 3.2.3-1 AGREGADO FINO | 128 |
| 3.2.3-2 AGREGADO GRUESO | 129 |
| 3.2.4 ADITIVOS | 132 |
| 3.2.4-1 ADITIVOS ESPECIALES PARA CONCRETOS DE GRAN COMPORTAMIENTO | 135 |
| 3.2.4-2 MECANISMOS DE ACCION DE LOS REDUCTORES DE AGUA DE ALTO RANGO. | 137 |
| 3.2.5 ADICIONES MINERALES | 142 |
| 3.2.5-1 ESCORIA GRANULADA DE ALTO HORNO | 143 |
| 3.2.5-2 CENIZAS VOLANTES | 144 |

| | |
|--|-----|
| 3.2.5-3 MICROSILICA | 144 |
| 3.2.5-4 FUNCION DE LAS ADICIONES MINERALES EN EL CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO. | 145 |
| 3.3 PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO. | 147 |
| 3.3.1 CONSIDERACIONES BASICAS EN LA PROPORCION DE MEZCLAS DE CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO. | 148 |
| 3.3.1-1 RELACION AGUA/CEMENTO O RELACION AGUA/CEMENTANTES. | 148 |
| 3.3.1-2 CONTENIDO DE CEMENTO | 149 |
| 3.3.1-3 PROPORCION DE AGREGADOS | 149 |
| 3.3.1-4 PROPORCION DE ADITIVOS | 150 |
| 3.4 CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO EN ESTADO FRESCO | 152 |
| 3.4.1 PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO | 153 |
| 3.4.1-1 TRABAJABILIDAD | 153 |
| 3.4.1-2 SEGREGACION Y SANGRADO | 155 |
| 3.4.1-3 CONTRACCION PLASTICA | 156 |
| 3.4.1-4 CALOR DE HIDRATACION | 156 |
| 3.4.2 MEZCLADO, TRANSPORTE, COLOCACION Y CURADO | 157 |
| 3.4.2-1 MEZCLADO | 157 |
| 3.4.2-2 TRANSPORTE | 158 |
| 3.4.2-3 COLOCACION | 159 |
| 3.4.2-4 CURADO | 160 |
| 3.5 CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO EN ESTADO ENDURECIDO | 161 |
| 3.5.1 PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO | 161 |
| 3.5.1-1 RESISTENCIA A LA COMPRESION | 161 |
| 3.5.1-2 RESISTENCIA A LA TENSION | 162 |
| 3.5.1-3 MODULO DE ELASTICIDAD | 162 |
| 3.5.1-4 DURABILIDAD | 164 |

**CAPITULO IV: "DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE GRAN
COMPORTAMIENTO Y PRUEBAS DE LABORATORIO."**

| | |
|---|-----|
| 4.1 INTRODUCCIÓN | 168 |
| 4.2 DESCRIPCION DEL TRABAJO EXPERIMENTAL | 169 |
| 4.3 PRUEBAS DE LABORATORIO A LOS COMPONENTES | 171 |
| 4.3.1 AGREGADO FINO | 172 |
| 4.3.1-1 IMPUREZAS ORGANICAS EN AGREGADO FINO PARA CONCRETO | 173 |
| 4.3.1-2 ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO | 174 |
| 4.3.1-3 GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE LOS AGREGADO FINOS | 179 |
| 4.3.1-4 PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO | 182 |
| 4.3.1-5 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO | 184 |
| 4.3.2 AGREGADOS GRUESOS | 186 |
| 4.3.2-1 ANALISIS GRANULOMETRICOS DE LOS AGREGADOS GRUESOS | 187 |
| 4.3.2-2 GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS GRUESOS | 194 |
| 4.3.2-3 PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS GRUESOS | 197 |
| 4.3.2-4 RESISTENCIA AL DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO | 200 |
| 4.3.2-5 PORCENTAJE DE PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS EN EL AGREGADO GRUESO. | 203 |
| 4.3.2-6 CONTENIDO DE HUMEDAD TOTAL POR SECADO DE LOS AGREGADOS GRUESOS. | 207 |
| 4.3.3 CEMENTO | 210 |
| 4.3.3-1 CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO HIDRAULICO | 212 |
| 4.3.3-2 TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRAULICO POR LA AGUJA DE VICAT | 214 |
| 4.3.3-3 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO | 216 |
| 4.3.4 ADITIVOS Y ADICIONES | 218 |
| 4.4 DISEÑO MEZCLAS DE CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO | 220 |
| 4.5 PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO | 246 |
| 4.5.1 CONCRETO FRESCO | 246 |
| 4.5.1-1 DOSIFICACION Y MEZCLADO DEL CONCRETO | 247 |

| | |
|--|-----|
| 4.5.1-2 TRABAJABILIDAD Y TEMPERATURA DEL CONCRETO | 249 |
| 4.5.1-3 FABRICACION DE ESPECIMENES DE PRUEBAS | 252 |
| 4.5.2 CONCRETO ENDURECIDO | 253 |
| 4.5.2-1 CURADO DE ESPECIMENES DE PRUEBA | 254 |
| 4.5.2-2 CABECEADO DE LOS ESPECIMENES DE PRUEBA | 254 |
| 4.5.2-3 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION | 255 |
| 4.5.2-4 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TENSION INDIRECTA | 265 |
| 4.5.2-5 PRUEBA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO AL ATAQUE DE AGENTES QUIMICOS. | 267 |
| | |
| CAPITULO V: "ANALISIS DE RESULTADOS Y EVALUACION ECONOMICA DE LAS MEZCLAS". | |
| 5.1 INTRODUCCION | 272 |
| 5.2 ANALISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS A LOS COMPONENTES | 273 |
| 5.2.1 RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS A LOS COMPONENTES | 274 |
| 5.2.2 AGREGADO FINO | 275 |
| 5.2.3 AGREGADO GRUESO | 277 |
| 5.2.4 CEMENTO | 279 |
| 5.2.5 ADITIVOS Y ADICIONES | 280 |
| 5.3 ANALISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LA ELABORACION DE MEZCLAS DE CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO. | 281 |
| 5.3.1 RESUMEN DE LAS PROPORCIONES DE LAS MEZCLAS ELABORADAS | 281 |
| 5.3.2 COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO. | 281 |
| 5.3.2-1 OBSERVACIONES EN LA DOSIFICACION Y MEZCLADO DEL CONCRETO. | 281 |
| 5.3.2-2 TRABAJABILIDAD Y TEMPERATURAS OBTENIDAS. | 282 |
| 5.3.3 COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO | 284 |
| 5.3.3-1 RESISTENCIA A COMPRESION OBTENIDAS A DIFERENTES EDADES | 284 |

| | |
|---|-----|
| 5.3.3-2 RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA OBTENIDA A LOS 56 DIAS. | 291 |
| 5.3.3-3 COMPARACION DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS DE CONCRETO CON INVESTIGACIONES ANTERIORES | 292 |
| 5.3.3-4 RESULTADOS DE PRUEBA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO AL ATAQUE DE AGENTES QUIMICÓS | 294 |
| 5.3.4 EVALUACION ECONOMICA DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO. | 303 |
| • CONCLUSIONES | 311 |
| • RECOMENDACIONES | 316 |
| • BIBLIOGRAFIA | 320 |
| • ANEXOS. | 324 |

RESUMEN

El estudio del concreto de Gran Comportamiento se abordó a nivel teórico y experimental, los capítulos del I al III tratan los fundamentos teóricos necesarios para desarrollar la comprensión del diseño y aplicación de este tipo de concreto. Específicamente el Capítulo I trata los objetivos, alcances y justificación del trabajo de investigación y se destacan los antecedentes del tema en estudio por los beneficios obtenidos en otros países al aplicar el Concreto de Gran Comportamiento. En el capítulo II se proporciona suficiente información sobre los ambientes a los que podría estar sometido un Concreto de Gran Comportamiento por su alta durabilidad, se mencionan las múltiples aplicaciones que pueden tener, algunas consideraciones de diseño estructural y económicas para fomentar su uso, y al final se presenta un diagnóstico sobre la situación actual de este tipo de concreto en El Salvador. En el capítulo III se trata la tecnología del Concreto de Gran Comportamiento, donde se mencionan las características que deben presentar los materiales que lo componen, así como también los métodos para el proporcionamiento, además se tratan algunas de sus propiedades en estado fresco y endurecido. Los capítulos IV y V abarcan todo el trabajo experimental realizado, el cual se planteó de acuerdo a los fundamentos teóricos adquiridos en los demás capítulos y que consistió en el diseño de seis mezclas de Concreto de Gran Comportamiento manteniendo las relaciones agua/cemento igual a 0.3 para determinar la consistencia y los niveles de resistencia a compresión que pueden alcanzarse utilizando materiales como cemento tipo I, aditivos superplastificantes, microsilica y gravas con tamaño máximo de 19 mm (3/4") y 12.7mm (1/2"). El capítulo IV contiene los datos de las propiedades en estado fresco y endurecido estudiadas al concreto y en el capítulo V se incluye el análisis de los resultados obtenidos de todo el trabajo experimental, se realiza la evaluación económica de cada mezcla de Concreto de Gran Comportamiento obteniéndose el costo del concreto por metro cúbico, y al final se presentan las conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

El Concreto de Gran Comportamiento no es de uso común en nuestro país, debido a que no hay un mercado potencial que lo demande y principalmente por la actitud tradicionalista de proyectistas y constructores que descartan el uso de estos concretos por razones conceptuales, aún cuando los beneficios que se pueden obtener son muchos.

El actual desarrollo económico y el aumento poblacional que atraviesa el país, ocasiona expansión urbana y se requieren soluciones de infraestructura que proporcionen comodidad y seguridad a sus ocupantes, es aquí donde el Concreto de Gran Comportamiento se vuelve una alternativa factible que posee amplias ventajas sobre el concreto de resistencia normal y aunque este tipo de concreto sea más caro que el concreto de resistencia normal, las ventajas técnicas que este ofrece van más allá de la resistencia a compresión y pueden resumirse en la durabilidad, uno de los parámetros más notables y requeridos en la actualidad, que garantiza la resistencia, la economía y la seguridad de la estructura durante su vida útil, además la durabilidad hace que el Concreto de Gran Comportamiento sea considerado como un gran material ecológico debido a que cumple ampliamente las exigencias ambientalistas en lo referente a la calidad del aire, minimización de desperdicios, eficiencia energética y conservación de los recursos naturales.

El desarrollo de este capítulo trata sobre las Generalidades de la investigación, conteniendo ocho apartados donde se engloban los aspectos básicos. El primer apartado son los antecedentes teóricos donde se citan los estudios existentes en nuestro país sobre los

Concretos de Gran Comportamiento así como los últimos avances a nivel mundial. En la Justificación del trabajo se da a conocer por que es necesario investigar sobre los Concretos de Gran Comportamiento. Otro apartado es la Delimitación del trabajo indicando hasta donde abarcará el estudio fijándose lo limites específicos. En la Metodología de la investigación se describen los procedimientos, métodos y técnicas para la ejecución y análisis del trabajo. Los objetivos constituyen las bases del estudio y donde se establece el punto de partida. Con respecto a los alcances del trabajo estos guardan estrecha relación con los objetivos estableciendo en base a estos lo que se pretende alcanzar al final. El último apartado son las limitaciones del trabajo donde se enuncian todos aquellos aspectos que consideramos son barreras que podrían obstaculizar la investigación.

1.2 ANTECEDENTES

El concepto de “Concreto de Comportamiento Diseñado” comenzó en la planta de concreto premezclado de Material Service Corporation en Chicago desde que el reglamento de las Construcciones de Concreto Reforzado (ACI 318-77) dió la opción de usar el historial estadístico de una planta como aceptación de mezclas de concreto. Sin embargo fué hasta en mayo de 1990 que el American Concrete Institute (ACI) y el National Institute of Standards and Technology (NIST), efectuaron una reunión para identificar los elementos de un plan nacional coordinado para que en los Estados Unidos se desarrollará y usará este tipo de Concreto, fue entonces en esta reunión donde se ideó el título de “Concreto de Gran Comportamiento” (High Performance Concrete) que sin duda es mas llamativo que simplemente “Concreto de Comportamiento Diseñado”. Además estos también fueron definidos en dicha reunión como “Aquellos con propiedades diseñadas y con uniformidad y comportamiento que no se pueden obtener normalmente usando componentes comunes en la mezcla, colocación y curado” ¹. Quedando los Concretos de Alta Resistencia (High Strenght Concrete) dentro de esta definición, siendo un tipo de Concreto de Gran Comportamiento aunque se hayan adelantado al genero a que pertenecen debido a que su desarrollo y uso datan desde la década de los años 50 requiriendo de ellos como principal propiedad la alta resistencia a la compresión. Otro resultado de la reunión anteriormente mencionada fue la creación de un comité especial en el American Concrete Institute (ACI) denominado Comité de Concreto de Gran Comportamiento (High Performance Concrete Committee), para encomendarle la misión al ACI para que organizara la información, transfiriera la tecnología a la industria de la construcción y escribiera las especificaciones en ciertas áreas de diseño y construcción de los Concretos de Gran Comportamiento.

¹ “El Estado del Arte en USA del Concreto de Gran Comportamiento”, Jaime Moreno, Reunión del “Concreto’ 94”, IMCYC, abril 1994. Pag. 1 - 6.

El desarrollo de los Concretos de Gran Comportamiento también esta siendo incrementado por países como Canadá, Noruega, Francia, Alemania y Japón a través de proyectos de implementación y Simposios en los cuales se trata aspectos importantes como diseño de mezclas, estudio de materiales componentes y diseño de estructuras con Concretos de Gran Comportamiento. Todas estas actividades se están coordinando a través de instituciones de investigación o entidades gubernamentales.

En Canadá fué el gobierno quién estableció el "Network of Centers of Excellence" para el estudio de Concretos de Gran Comportamiento, el cual incluye siete universidades y dos empresas particulares, teniendo como investigaciones más importantes las del programa desarrollado por la Universidad de Sherbrooke sobre el estudio de las características a largo plazo de Concretos de Alta Resistencia por medio de testigos extraídos de columnas experimentales después de los 2 y 4 años de su construcción, determinándose en ellos una resistencia similar a las probetas curadas en laboratorio por 28 días, además de una escasa deformación y baja fisuración. Son también importantes las investigaciones realizadas en la resistencia de los Concretos de Gran Comportamiento a los efectos de congelamiento y deshielo, estableciéndose que para relaciones de agua/cemento (a/c) menores de 0.25 se obtienen impermeabilidades altamente eficaces contra esos efectos ².

En Francia existe el proyecto nacional francés "Nuevas Vías Para el Material Hormigón" en el cual se fomentan las investigaciones y uso de Concretos de Gran Comportamiento por medio de un programa basado en ideas fundamentales como la de "Privilegiar el concepto de Gran Comportamiento dentro de las nuevas vías de uso para el concreto"³.

^{2 y 3} "Hormigones de Alta Performance un Nuevo Desafío Tecnológico para la Construcción", Revista "Cemento Hormigón", Marzo 1994, No. 730, Pag. 339 - 340 y Pag. 334 - 335.

En Japón también se han realizado estudios de Concretos de Gran Comportamiento, donde el Ministerio de Construcción inicio en 1988 un programa de 5 años para el "Desarrollo de Concretos Avanzados para la construcción de Edificios usando concretos de Gran Comportamiento". Se destacan también los estudios que se realizan en la Universidad de Tokio, sobre "El Desarrollo de Concretos de Gran Comportamiento", donde se han ideado como Concretos Autocompactables de Gran Comportamiento, que son definidos como concretos que pueden llenar todas las esquinas de las formaletas sin usar vibración en estado fresco y que a edad temprana, presenten pocos defectos iniciales como grietas debido al calor generado por la hidratación y contracción por secado al inicio del endurecimiento y que en estado endurecido, tengan suficiente resistencia a la compresión y resistencia contra el movimiento de factores de deterioro potencial como el oxígeno, ion cloruro y el agua⁴.

La aplicación de los Concretos de Gran Comportamiento se ha desarrollado lentamente por la falta de un completo entendimiento de sus propiedades y comportamiento, sin embargo la tecnología del concreto ya tiene los conocimientos necesarios para incrementar la resistencia, construyéndose en muchos países grandes obras de importancia que prueban las ventajas de estos concretos especiales. El uso de los concretos de Gran Comportamiento se extiende requiriendo de estos una prestación en particular para la construcción de Edificios, Puentes, Presas, Plataformas Marinas, Túneles y Pavimentos.

La Industria de la Construcción en Estados Unidos ha sido pionera en el uso de Concretos de Gran Comportamiento especialmente en Chicago donde desde 1950 se diseñan concretos de alta resistencia, existiendo actualmente muchos edificios en los cuales estos se han empleado por ejemplo **El 1000 Lake Shore Drive** construido en 1964 donde se utilizo por

⁴ "Development of High Performance", Kasumasa Ozawa, Koichi Maekawa, Hahime Okamura, Journal de la facultad de Ingeniería de la Universidad de Tokyo, Japón. Vol. XLI No. 3, 1992. Pag. 383.

primera vez concreto de 420 Kg./cm², llegando a utilizarse en 1989 en **El Edificio 225 W. Wacker Drive** un concreto de 1200 Kg./cm². En otras ciudades de los Estados Unidos también existen muchos edificios donde se ha utilizado estos concretos destacándose Seattle con **El Edificio Two Union Square** construido en 1988 donde se uso concreto con 1470 Kg/cm². Siendo una de las resistencias más altas utilizadas en la construcción.

En Europa también se han realizado algunos proyectos utilizando Concretos de Gran Comportamiento tales como:

- **El Puente Joigny** construido en Francia en 1989 con una resistencia de 880 Kg/cm² alcanzada sin usar microsíllica.
- **El túnel submarino del Canal de la Mancha** que une a Francia e Inglaterra fué construido en 1988, utilizándose concreto con una resistencia mínima a la compresión de 600 kg/cm² con adiciones de Microsíllica, Escorias de altos hornos y Cenizas Volantes.
- **La Plataforma extractora de Gas Natural "Troll"** ubicada en el mar del norte de Noruega, se eleva de forma imponente con 472 mts. de altura, le otorga el record de la torre de concreto más alta considerandola como la 8° maravilla del mundo, fué construida en 1996 y tendrá una vida útil de 70 años, ha sido diseñada con Concreto de Gran Comportamiento para soportar las fuertes corrientes submarinas y los 5 millones de olas anuales que se estiman chocaran contra ella. (ver figura 1.1)

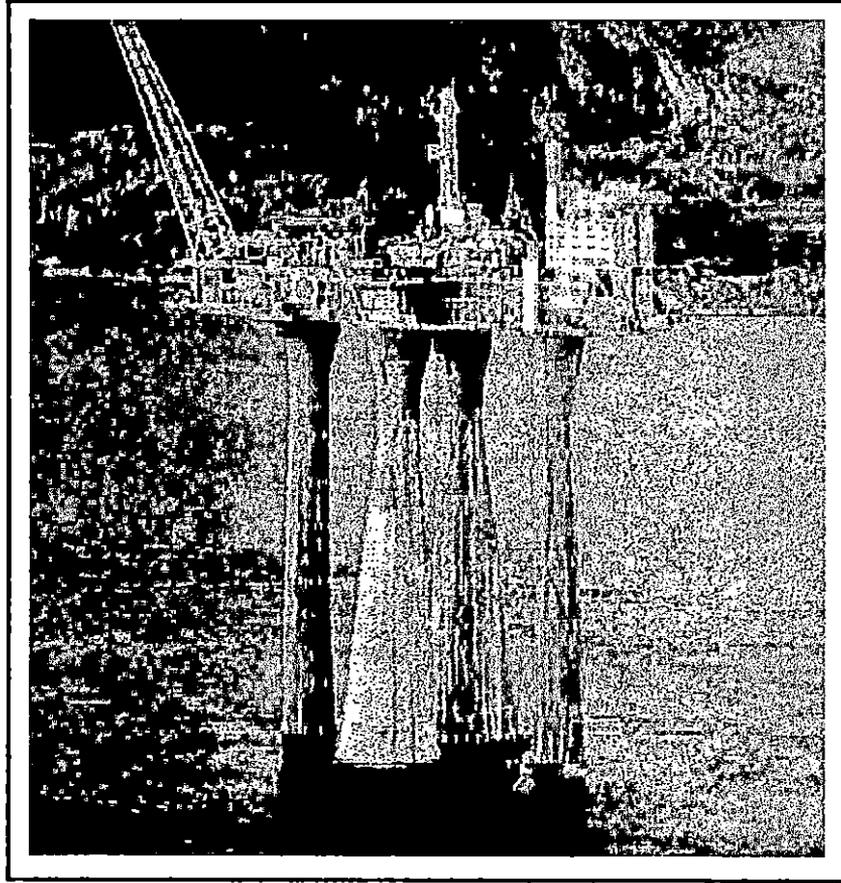


Fig. 1.1 Torres Troll, Plataforma marina (off shore) construida en el mar norte de Noruega para extraer gas natural, utilizandose Concreto de Gran Comportamiento en su construcción.⁵

En Malasia se destacan **Las Torres Gemelas Petronas** en la ciudad de Kuala Lumpur que miden 452 mts. de altura (Ver Fig. 1.2), actualmente se consideran los Edificios más altos del mundo, se utilizó Concreto de Gran Comportamiento con una resistencia de 1120 Kg/cm², construidas en 1996 y son propiedad de la Compañía Petrolera Nacional Petronas.

En Japón se han llegado a utilizar Concretos de Gran Comportamiento con resistencias de 800 Kg/cm² como **El Puente ferrocarrilero Akkagawa** construido en 1976 con un claro máximo de 46 mts. Siendo **El Puente colgante Akashi - Kaikyo** uno de los primeros ejemplos donde se han usado alrededor de 433,000 m³ de Concreto Autocompactable de Gran Comportamiento para los anclajes del puente construido en 1997.

⁵ "Troll El Gigante del Norte", Revista Muy Interesante No. 3 año 1995, Pag. 56.

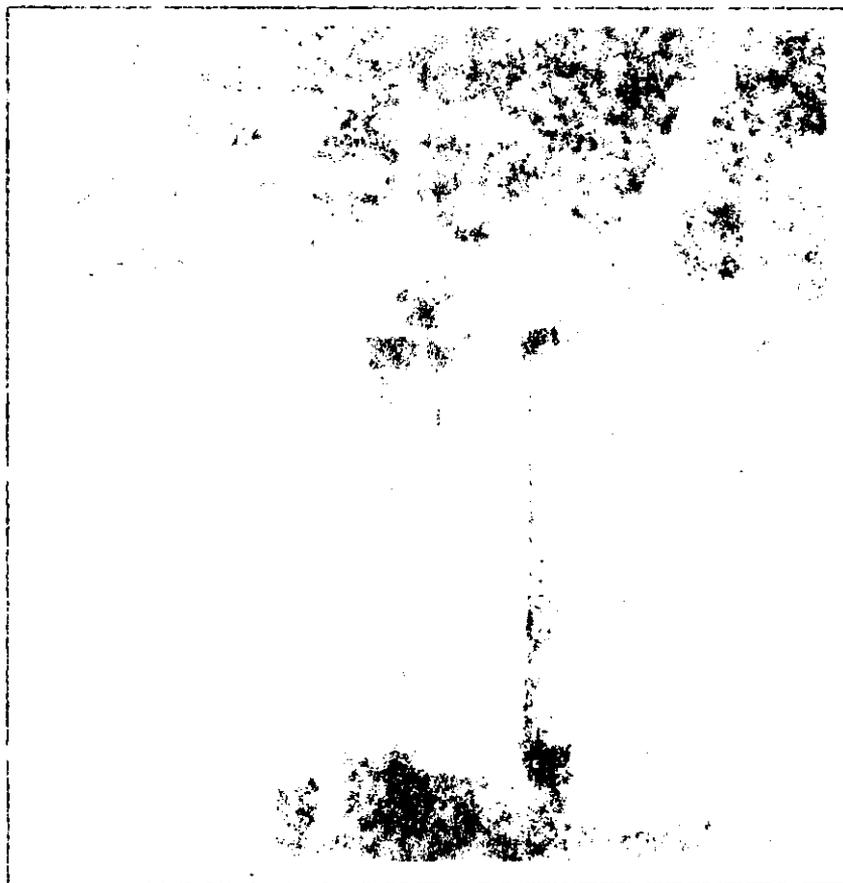


Fig. 1. El árbol de la especie *Pinus sylvestris* L. en el punto de muestreo 1. El árbol mide 12 m de altura y tiene un diámetro de 10 cm en la base.

En el punto de muestreo 1 se encontró un árbol de la especie *Pinus sylvestris* L. que mide 12 m de altura y tiene un diámetro de 10 cm en la base. Este árbol está en un terreno que mide 10 m de ancho y 10 m de largo. El terreno está rodeado por un muro de 1 m de altura y 10 m de largo. El muro está hecho de ladrillos y tiene un espesor de 0,2 m. El terreno está rodeado por un muro de 1 m de altura y 10 m de largo. El muro está hecho de ladrillos y tiene un espesor de 0,2 m.

En el punto de muestreo 2 se encontró un árbol de la especie *Pinus sylvestris* L. que mide 12 m de altura y tiene un diámetro de 10 cm en la base. Este árbol está en un terreno que mide 10 m de ancho y 10 m de largo. El terreno está rodeado por un muro de 1 m de altura y 10 m de largo. El muro está hecho de ladrillos y tiene un espesor de 0,2 m. El terreno está rodeado por un muro de 1 m de altura y 10 m de largo. El muro está hecho de ladrillos y tiene un espesor de 0,2 m.

El árbol de la especie *Pinus sylvestris* L. en el punto de muestreo 1 mide 12 m de altura y tiene un diámetro de 10 cm en la base.

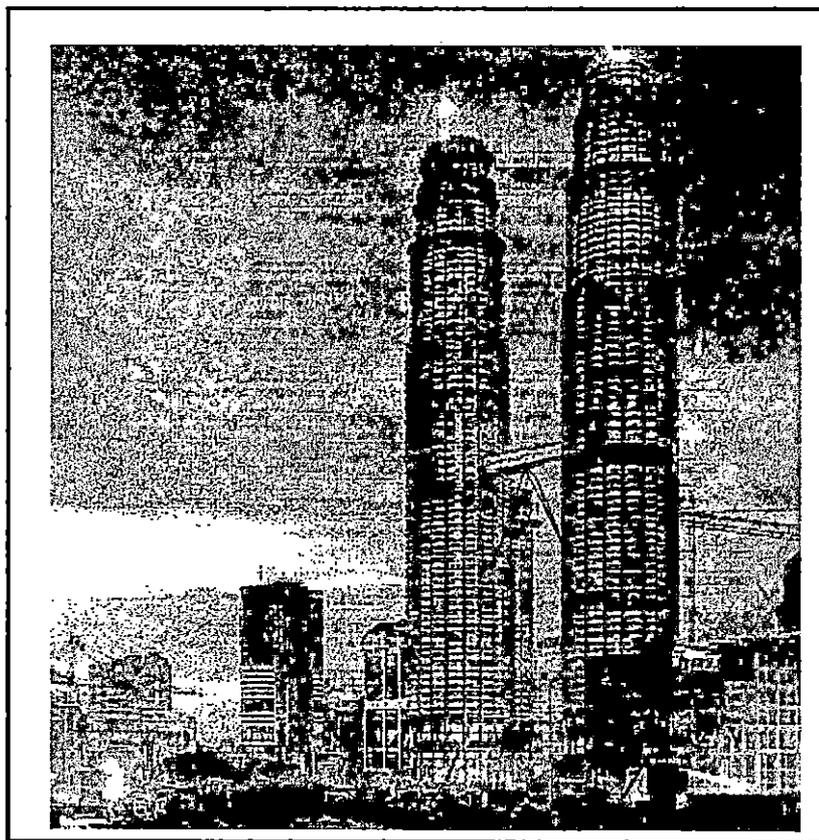


Fig. 1.2 Torres Gemelas Petronas⁶ consideradas las más altas del mundo, diseñadas y construidas con Concreto de Gran Comportamiento.

En Japón se han llegado a utilizar Concretos de Gran Comportamiento con resistencias de 800 Kg/cm^2 como **El Puente ferrocarrilero Akkagawa** construido en 1976 con un claro máximo de 46 mts. Siendo **El Puente colgante Akashi - Kaikyo** uno de los primeros ejemplos donde se han usado alrededor de $433,000 \text{ m}^3$ de Concreto Autocompactable de Gran Comportamiento para los anclajes del puente construido en 1997.

Algunos países latinoamericanos como Colombia y México están comenzando a estudiar y aplicar los Concretos de Gran Comportamiento. En México se han construido algunos Puentes como **El Coatzacoalcos** con un claro máximo de 280 mts. y **El Tampico** con un

⁶ "Malasia rompe la barrera de los 450 mts. de altura", Revista "Construcción y Tecnología". No. 94, año 1996. Pag 7.

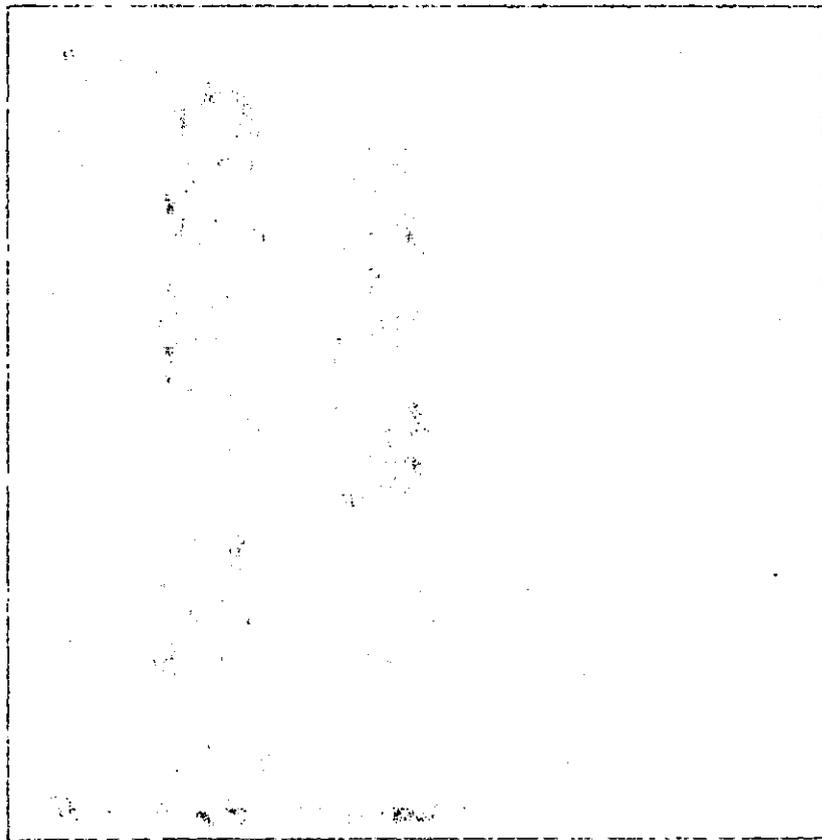


Fig. 12. Forest (Cecropia peltata) - dense, tall, with a canopy of 20 m. The forest is located in the area of the study.

The study area is located in the center of the Cienega de Guanajuato, which is a natural area of high ecological value. The area is characterized by a high density of vegetation, with a canopy of 20 m. The forest is located in the area of the study, which is a natural area of high ecological value. The area is characterized by a high density of vegetation, with a canopy of 20 m. The forest is located in the area of the study, which is a natural area of high ecological value.

The study area is located in the center of the Cienega de Guanajuato, which is a natural area of high ecological value. The area is characterized by a high density of vegetation, with a canopy of 20 m. The forest is located in the area of the study, which is a natural area of high ecological value. The area is characterized by a high density of vegetation, with a canopy of 20 m.

claro máximo de 360 mts. en ambos se utilizaron para su construcción concreto con resistencia de 400 Kg./cm^2 . Construyéndose en 1995 El Puente Atirantado Papaloapan con una longitud total de 408 mts. (Ver Fig. 1.3), donde se utilizó concreto con una resistencia de 450 kg./cm^2 para las columnas de 50 mts. de altura y 500 Kg./cm^2 para las dovelas.

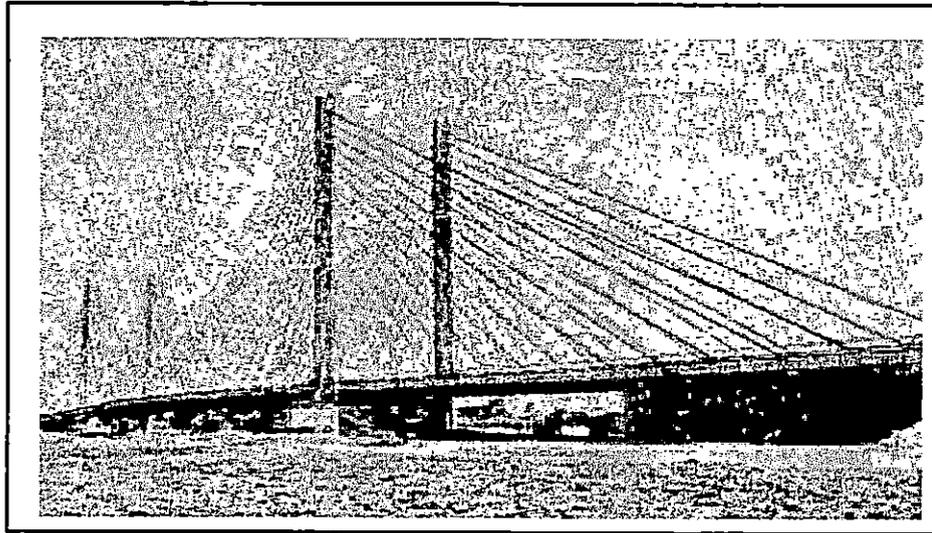


Fig. 1.3 Puente Atirantado Papaloapan ⁷, con una longitud total de 408 mts. utilizándose Concreto de Alta Resistencia para las Columnas y Dovelas. Estado de Veracruz, México.

El concreto reforzado desde que se introdujo en 1912 en El Salvador viene utilizándose como uno de los materiales de construcción que mayores ventajas técnicas y económicas ha ofrecido, este ha permitido construir la mayoría de las obras civiles en nuestro país, ya que el concreto tiene propiedades y cualidades características como su resistencia a la compresión en el cual se basa su principio fundamental de trabajo, permitiendo que las obras se vengan diseñando con resistencias entre 210 a 280 Kg./cm^2 . Aunque resistencias mayores pueden ser obtenidas no es usual el diseño, porque en nuestro medio se desconocen las cualidades y propiedades que tiene un Concreto de Gran Comportamiento, ya que no se ha hecho un estudio para determinar los parámetros que los rigen o se descarta

⁷ "Puente Papaloapan", Revista: "Construcción y Tecnología". No.102, año 1996. Pag. 12.

inmediatamente la idea de utilizarlos al pensar que a mayor resistencia requerida resultaría un costo elevado del concreto, sin tomar en cuenta que pueden diseñarse no solo orientados para obtener altas resistencias si no también para otras propiedades que se requieran ya sea en estado fresco como endurecido, alcanzándose estas al aplicar las técnicas necesarias para elaborarlos permitiendo así lograr superar barreras que un concreto normal no podría para un determinado servicio requerido como son alta fluidez, estabilidad volumétrica o gran durabilidad en ambientes severos entre algunos.

Estos Concretos de Gran Comportamiento realmente en nuestro país no han sido difundidos, sin embargo se han utilizado en la reparación del vertedero de la Presa Hidroeléctrica "15 de Septiembre" con una resistencia a la compresión de 750 Kg./cm² ⁸, esto demuestra la aplicación que estos concretos pueden tener, por lo tanto es necesario comenzar a estudiarlos más a fondo para que los ingenieros civiles salvadoreños puedan aprovechar los grandes beneficios que ofrecen, razón por la cual en otros países estos Concretos de Gran Comportamiento son usados comúnmente. Sin embargo a nivel de investigación sobre el tema se han realizado dos estudios en 1994 y 1995 en la Universidad de El Salvador con el nombre de "Estudio de Concretos con Alta Resistencia a la Agresión Provocada por la Contaminación del Medio Ambiente" (Partes I y II). El trabajo experimental de ambos estudios fue elaborar mezclas de prueba con relaciones de Agua/Cemento (a/c) que oscilaban entre 0.27 a 0.33, usando aditivos superplastificantes y microsíllica, cuyo objetivo era verificar el comportamiento de este tipo de concreto en estado fresco y endurecido y específicamente con pruebas de revenimiento, resistencia a la compresión y pruebas de durabilidad estimada por medio del ataque de ácidos y sulfatos.

⁸ "Estudio de Concreto con Alta Resistencia a la Agresión Provocada por la Contaminación del Medio Ambiente", 2° parte, Santos Fernando Alberto, Tesis UES Agosto 1995. Pag. 8.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

A nivel global se está viviendo un período de cambios sociales, tecnológicos e industriales que sumados al incremento poblacional y su consecuente desarrollo urbano demandan la creación de infraestructuras que satisfagan las necesidades de albergue proporcionando comodidad y seguridad a sus ocupantes. Esto obliga a buscar soluciones que proporcionen alternativas factibles, que puedan ser aplicadas de forma directa a la construcción de estructuras que cubran las necesidades habitacionales, comerciales e industriales de la población.

El Salvador se encuentra en una etapa de transición que a su vez está inmersa en políticas mundiales como lo son la globalización y la modernización, siendo estos fenómenos que generan expectativas propicias para el desarrollo de todos los sectores de nuestra sociedad se hace necesario investigar nuevas tecnologías particularmente en la industria de la construcción, ya que este sector representa un rubro muy importante en la economía nacional debido a que sus actividades generan mano de obra y contribuyen al mejoramiento del ambiente físico. Sin embargo el país necesita de una reconstrucción en su infraestructura física deteriorada, específicamente en estructuras tales como puentes, edificios, carreteras y otras obras, que fueron dañadas por el pasado conflicto bélico y el terremoto del 10 de octubre de 1986, dichas obras en su mayoría llevan implícito el uso del concreto como materia prima para su diseño y construcción, lo cual llama a la reflexión acerca de la importancia de conocer los avances respecto a materiales “no tradicionales”, como son los Concretos de Gran Comportamiento.

El Concreto de Gran Comportamiento como material esta siendo aceptado como integrante de la vida diaria en sociedades desarrolladas, exigiéndole cada vez mejores características como son: altas resistencias mecánicas, buen comportamiento al impacto,

gran resistencia al desgaste físico y a los ataques de los agentes químicos agresivos. El uso de este concreto posee una serie de ventajas debido a sus características especiales que lo hacen diferente a los concretos de resistencia normal, ya que tiene propiedades físicas y mecánicas que permiten obtener secciones de elementos estructurales de menor tamaño y por consiguiente disminuir el peso propio de la estructura, además de reducir la cantidad de acero de refuerzo requerido en elementos estructurales como vigas y columnas, lo cual significa un ahorro en los costos de construcción.

También considerando que en estos tiempos el aspecto ecológico o ambiental es un factor muy importante y en nuestro país se crean legislaciones que regulan y protegen el medio ambiente, los Concretos de Gran Comportamiento aventajan a otros materiales de construcción ya que además de poseer gran durabilidad no afectan la salud humana ni deterioran el medio ambiente, además cabe mencionar que estos concretos son muy resistentes a la contaminación y en ambientes agresivos en los cuales se hallen inmersos.

Por estas razones en este trabajo de investigación se estudiarán las características básicas de los Concretos de Gran Comportamiento, contribuyendo de esta forma a incrementar los conocimientos que actualmente existen sobre el tema, dando continuidad a estudios anteriores realizados en la Universidad de El Salvador acerca de este tipo de concretos.

Durante el desarrollo de la tecnología del concreto se han venido descubriendo nuevos componentes (cemento, aditivos y adiciones) que permiten mejorar el comportamiento físico, químico y mecánico de los concretos. El uso de estas innovaciones causa en los ingenieros una incertidumbre sobre los posibles efectos que estas puedan provocar sobre la resistencia de los concretos, lo cual puede aclararse por medio de pruebas o ensayos a los materiales que componen el concreto, con las cuales se determine la variabilidad de la resistencia a la compresión y otras propiedades. Por ello es importante y necesario experimentar Concretos de Gran Comportamiento utilizando un cemento de reciente

introducción al mercado nacional como lo es el "Cemento 5000" (ASTM C-150) fabricado por CESSA, para comprobar las ventajas que ofrece y obtener un producto de mejor calidad para su uso.

Es evidente que al realizar un estudio técnico y económico de el Concretos de Gran Comportamiento se evalúen las distintas alternativas constructivas lo que indicará si resulta o no rentable el uso de estos, debido a que para su fabricación se exige una selección cuidadosa de los materiales que lo componen. En estos concretos también se deben considerar los altos contenidos de cemento, el empleo de aditivos y adiciones minerales, mano de obra calificada así como un estricto control de calidad.

Sin embargo la posibilidad de ser usados en nuestro país no es descartada, ya que su utilización ha sido implementada en la reparación del vertedero de la presa hidroeléctrica "15 de Septiembre" como único material que aportaba las prestaciones técnicas y económicas requeridas.

Es así como en el presente trabajo de investigación se pretende demostrar que los Concretos de Gran Comportamiento pueden ser la solución a problemas de construcción en obras especiales de concreto reforzado como son: puentes, edificaciones de altura, túneles, carreteras y en la elaboración de producto premezclado y elementos prefabricados.

1.4 DELIMITACIONES DEL TRABAJO

El sector de la construcción representa un rubro muy importante dentro de la economía nacional, este sector comprende el planeamiento, diseño y construcción de obras de gran interés para la sociedad salvadoreña, así como también incluye la elaboración de productos premezclados, elementos prefabricados y gran número de obras civiles que llevan implícito como principal material de construcción el Concreto.

La investigación enfoca el análisis teórico-experimental y la aplicación del Concreto de Gran Comportamiento, usado principalmente en obras especiales como edificios, puentes, túneles, obras hidráulicas y productos prefabricados.

El área de interés geográfica en la delimitación del tema será a nivel nacional, debido a que en todo el territorio se pueden proyectar obras que requieren el uso de Concreto de Gran Comportamiento.

La investigación se realizará en el campo de la Ingeniería Civil, usando como herramientas las teorías actuales sobre la tecnología del concreto, con las cuales se elaborará un estudio sistemático en lo referente a Concretos de Gran Comportamiento.

El estudio se efectuará en el área de materiales, específicamente en la elaboración de concreto a nivel teórico-experimental, utilizando equipo de laboratorio y materiales que permitan realizar las diferentes mezclas a estudiar, para el análisis del concreto en estado fresco y endurecido.

Las investigaciones se realizaran en las instalaciones del laboratorio de suelos y materiales "Ing. Mario Angel Gurzman Urbina" de la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de

El Salvador, donde se efectuarán los diferentes ensayos del Concreto de Gran Comportamiento, analizando de esta forma sus propiedades y características.

Los materiales pétreos y cemento a usar, son los que se encuentran disponibles en el mercado nacional; con respecto a los materiales pétreos se usaran los procedentes del río Jiboa (Departamento de la Paz) y de la Cantera de San Diego (Departamento de La Libertad), los cuales son sugeridos en el “Estudio de Concreto con Alta Resistencia a la Agresión Provocada por la Contaminación del Medio Ambiente” (1° y 2° parte). El cemento a utilizar será de la fabrica CESSA, siendo el cemento 5000 (portland tipo I), mientras que los aditivos y adiciones a usar en los ensayos serán aquellos de origen extranjero que se encuentren disponibles en el país.

Dentro de los aspectos a estudiar se realizará un pequeño diagnóstico de las empresas nacionales dedicadas a la producción de premezclados y prefabricados para identificar la situación actual del uso de los Concretos de Gran Comportamiento en nuestro país.

1.5 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Para realizar la investigación se utilizarán métodos, técnicas, instrumentos y equipo de laboratorio que permitirán desarrollar un estudio a nivel teórico y experimental en el campo de la ingeniería civil y específicamente en el área de la Tecnología del Concreto, permitiendo elaborar un estudio sistemático respecto a considerar básica y económicamente la aplicación del Concreto de Gran Comportamiento en el país.

A) OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN

Los Concretos de Gran Comportamiento tienen mejores propiedades que los concretos normales y permiten por ello superar problemas que se presentan en la construcción de obras especiales como: Puentes, Presas, Bóvedas, Túneles, Edificios de gran altura y obras en zonas costeras donde se requiera garantizar la durabilidad. Por esto es necesario estudiar las consideraciones básicas de estos concretos para poder así aprovechar su uso con el fin de obtener mejores resultados tanto técnicos como económicos.

Una de las herramientas para evaluar los resultados del uso de los Concretos de Gran Comportamiento es la investigación experimental, porque permite obtener parámetros o medidas de las propiedades para aceptar confiadamente la utilización de los Concretos de Gran Comportamiento en nuestro medio, ya que resultaría oportuno en este tiempo de cambios tecnológicos que afrontamos, proponerlos como alternativa de solución a los problemas que se presentan en la industria de la construcción.

B) EL PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.- DETERMINACIÓN DE LA POBLACIÓN

El universo ó población será aquella a beneficiar con la investigación a realizar, la cual estará formada por:

- a) Estudiantes y Profesionales interesados en el conocimiento y uso de los Concretos de Gran Comportamiento.
- b) Empresas dedicadas a la elaboración de concreto premezclado y productos prefabricados, fábricas de cemento y aquellas empresas capaces de ejecutar obras especiales (puentes, túneles, edificios altos y obras hidráulicas).

2) RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos se efectuará de la siguiente forma:

a) Investigación Bibliográfica (Datos Primarios)

En esta investigación se obtendrán datos relacionados con el tema de diferentes publicaciones como son: libros, tesis, revistas, boletines y documentos de asociaciones profesionales. Además para actualizar la investigación se usará la red global de Internet y el correo electrónico, en donde se pueden conocer los últimos avances referentes al tema a nivel mundial.

La selección de la información se realizará en base a la actualidad y utilidad práctica que presente, para su posterior uso en la explicación y análisis de las teorías válidas para nuestra investigación.

b) Investigación de Laboratorio. (Datos primarios)

Esta investigación se efectuará mediante la realización de pruebas que permitan determinar la calidad y propiedades de los materiales usados en la elaboración del concreto, así como también determinar la características y propiedades de los concretos en estado fresco y endurecido.

Estas pruebas se efectuarán cumpliendo las normas o reglamentos establecidos por la ASTM (American Society For Testing and Materials) y ACI (American Concrete Institute).

Entre las pruebas que nos permitirán recolectar datos para nuestra investigación, podemos citar: Trabajabilidad, Resistencias Mecánicas y Durabilidad.

C) Investigación de Campo. (Datos secundarios)

Se llevará a cabo mediante un diagnóstico, con el cual se determine la situación actual del uso de los Concretos de Gran Comportamiento en el país, analizando aquellas empresas que se dedican a la elaboración de premezclados y prefabricados.

3) ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE DATOS

Los datos obtenidos de los distintos ensayos serán tabulados y graficados, a fin de facilitar su comprensión y/o análisis.

4) CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones y recomendaciones se elaborarán principalmente en base al análisis de los resultados obtenidos de las pruebas efectuadas en laboratorio, así como también de las investigaciones realizadas en campo.

1.6 OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

- Ampliar el estudio a nivel teórico y experimental sobre los Concretos de Gran Comportamiento, a fin de orientar su aplicación en la construcción de obras civiles en nuestro país.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar Concretos de Gran Comportamiento haciendo uso de materiales disponibles en el mercado nacional como son: El cemento 5000 (Portland tipo I), agregados normales, aditivos superplastificantes y microsíllica.
- Diseñar diferentes tipos de mezclas de Concreto de Gran Comportamiento y efectuar pruebas de laboratorio para el estudio de las propiedades físicas y mecánicas de estos en estado fresco y endurecido.
- Identificar la situación actual del uso de los concretos de Gran Comportamiento en nuestro país y además realizar un análisis económico de estos.
- Con los resultados que se obtengan de las pruebas de laboratorio, hacer una comparación con estudios anteriormente realizados en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador sobre Concretos de Gran Comportamiento.

1.7 ALCANCES DEL TRABAJO

- Crear expectativas para la continuación de investigaciones similares.
- Mantener a la Universidad de El Salvador a la vanguardia respecto a estudios de materiales no tradicionales como lo son los Concretos de Gran Comportamiento.
- Proporcionar información técnica básica que pudiera ser de utilidad para el diseño y construcción de obras de Concreto.
- Realizar un diagnóstico que determine la situación actual de los Concretos de Gran Comportamiento en El Salvador.
- Identificar las ventajas y desventajas de los Concretos de Gran Comportamiento.
- De los diferentes tipos de mezclas de pruebas a realizar establecer por medio de una relación agua/cemento (a/c) o agua/cementante ($a/(c+p)$) propuesta, la resistencia a la compresión alcanzada.
- Elaborar el mayor número de especímenes posibles para obtener valores más confiables de resistencia a la compresión.
- Someter especímenes a pruebas indirectas de durabilidad por medio del uso de ácidos y sulfatos.
- Realizar una evaluación económica de los diseños de mezclas propuestos.

1.8 LIMITACIONES DEL TRABAJO

- La Investigación de el Concreto de Gran Comportamiento se desarrollará usando materiales disponibles en nuestro medio, y no se podrán utilizar otros materiales por su inexistencia como son: cenizas volantes, escorias de alto horno y cemento tipo III.
- Falta de equipo apropiado para realizar pruebas de durabilidad y permeabilidad a los Concretos de Gran Comportamiento.
- Escasa disponibilidad en nuestro medio de estudios y bibliografía reciente acerca de Concretos de Gran Comportamiento.
- Tiempo insuficiente para realizar un estudio a largo plazo donde se elabore una cantidad mayor de mezclas de Concreto de Gran Comportamiento.

CAPITULO II

"CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO"

2.1 INTRODUCCIÓN.

El Concreto de Gran Comportamiento es un material que posee altas prestaciones en estado fresco y endurecido, que lo hacen único y diferente de otros materiales de construcción. Entre las características más notables se pueden mencionar una alta trabajabilidad, alta resistencia a las acciones mecánicas y durabilidad en ambientes agresivos. Estos beneficios son valiosos cuando el concreto se usa en costosas e importantes estructuras diseñadas para largos períodos de servicio y en condiciones severas de exposición.

Las aplicaciones del Concreto de Gran Comportamiento son muy amplias, aunque en muchos casos su disponibilidad y las dudas sobre el desempeño estructural limitan su uso. Ante esto es necesario promover el uso y estudio de estos concretos, para aclarar las dudas que aquejan a proyectistas, diseñadores, productores y constructores sobre el uso y comportamiento de estos concretos.

En este capítulo se abordan los principales temas referentes al Concreto de Gran Comportamiento como son: su definición, tipos de concreto de Gran Comportamiento, un enfoque a la durabilidad del concreto en ambientes agresivos, consideraciones básicas de diseño estructural, las aplicaciones en obras de construcción, las ventajas y desventajas de estos concretos, consideraciones económicas y la situación actual del Concreto de Gran Comportamiento en el país.

2.2 CONCRETOS DE GRAN COMPORTAMIENTO.

2.2.1 DEFINICIÓN.

Los Concretos de Gran Comportamiento fueron definidos en 1990 por el American Concrete Institute (ACI) y el National Institute of Standards and Technology (NIST) como: Concreto con propiedades diseñadas y con uniformidad y comportamiento que no se pueden obtener normalmente usando componentes comunes en la mezcla, colocación y curado. Entre estas propiedades diseñadas se pueden incluir:

- Facilidad de Colocación.
- Propiedades mecánicas especiales a corta y larga edad.
- Alta resistencia inicial.
- Tenacidad Superior.
- Gran estabilidad de Volumen.
- Alta durabilidad en condiciones y ambientes severos.

Para promover el uso en estructuras de carreteras y establecer un claro entendimiento de los concretos de Gran Comportamiento la Federal Highway Administration (FHWA) ha propuesto la definición de estos, usando criterios de comportamiento a corta y larga edad. La definición propuesta consiste de cuatro parámetros de durabilidad (Congelamiento-Deshielo, resistencia a la descamación, resistencia a la abrasión y penetración de cloruro) y cuatro parámetros de resistencia (resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, contracción y flujo plástico). Asociado con cada parámetro se encuentra el criterio de comportamiento, procedimientos de prueba para medir el comportamiento, y las recomendaciones para la aplicación del concreto en condiciones adversas. La definición tiene un número adecuado de parámetros de comportamiento para facilitar su aplicación como una guía cuando se especifica una mezcla de concreto ya que se usan grados para

medir el nivel de comportamiento sujeto a las condiciones de campo. Usando estos grados un ingeniero puede especificar una mezcla para obtener un requerido comportamiento y vida de servicio del concreto y aplicando la definición por medio del uso de tres cuadros mostrados más adelante. El Cuadro 2.1 da los parámetros y los criterios de comportamiento, el Cuadro 2.2 identifica los ensayos estándar para evaluar el comportamiento y el Cuadro 2.3 relaciona el comportamiento recomendado a las condiciones de exposición. La definición es el resultado de una investigación de condiciones de campo que causan deterioro a las estructuras del concreto. Las condiciones de campo pueden ser divididas en tres categorías: condiciones climáticas, condiciones de exposición y condiciones de carga.

Cuadro 2.1 GRADOS DE COMPORTAMIENTO CARACTERÍSTICOS PARA CONCRETO ESTRUCTURAL DE GRAN COMPORTAMIENTO¹ (*)

| COMPORTAMIENTO CARACTERÍSTICO ² | MÉTODO ESTÁNDAR DE ENSAYO | GRADO DE COMPORTAMIENTO ³ DEL CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO (FHWA) | | | | |
|---|---------------------------------------|---|--|---|------------------------------|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | N/A |
| Congelamiento y Deshielo-Durabilidad ⁴ (x=Módulo de Elasticidad dinámico relativo después de 300 ciclos). | AASHTO T 161 ASTM C 666 Proc. A | 60% ≤ x < 80% | 80% ≤ x | | | |
| Resistencia a la descamación ⁵ (x=Valuación visual de la superficie después de 50 ciclos). | ASTM C 672 | x = 4,5 | x = 2,3 | x = 0,1 | | |
| Resistencia a la Abrasión ⁶ (x=Promedio de profundidad de desgaste en mm). | ASTM C 944 | 2.0 > x ≥ 1.0 | 1.0 > x ≥ 0.5 | 0.5 > x | | |
| Penetración de Cloruro ⁷ (x= Coulombs) | ASTM C 1202 | 3000 ≥ x > 2000 | 2000 ≥ x > 800 | 800 ≥ x | | |
| Resistencia (x= Resistencia a la compresión) | ASSHTO T 2 ASTM C 39 | 41 ≤ x < 55 Mpa (6 ≤ x < 8 Ksi) | 55 ≤ x < 69 Mpa (8 ≤ x < 10 Ksi) | 69 ≤ x < 97 Mpa (10 ≤ x < 14 Ksi) | x ≥ 97 Mpa x ≥ 14 Ksi | |
| Elasticidad ¹⁰ (x= Módulo de elasticidad) | ASTM C 469 | 28 ≤ x < 40 Gpa (4 ≤ x < 6 × 10 ⁶ PSI) | 40 ≤ x < 50 Gpa (6 ≤ x < 7.5 × 10 ⁶ psi) | x ≥ 50 Gpa (x ≥ 7.5 × 10 ⁶ psi) | | |
| Contracción ⁸ (x= Microdeformación) | ASTM C 157 | 800 > x ≥ 6000 | 600 > x ≥ 400 | 400 > x | | |
| Flujo Plástico ⁹ (x=Microdeformación/presión unitaria. | ASTM C 512 | 75 ≥ x > 60/MPa (0.52 ≥ x > 0.41/psi) | 60 ≥ x > 45/MPa (0.41 ≥ x > 0.31/psi) | 45 ≥ x > 30/MPa (0.31 ≥ x > 0.21/ psi) | 30 MPa ≥ x (0.21 Psi ≥ x) | |

REFERENCIAS:

¹ Este cuadro no representa una lista extensa de todas las características que un buen concreto debe presentar. Las características de la lista pueden ser cuantificablemente divididas en diferentes grupos de comportamiento otras características deberán ser probadas por la reactividad perjudicial álcali-sílice de acuerdo a ASTM 227 curado en 38°C y probados en 23°C, deberán rendir menos de 0.05 por ciento, significando una expansión en 3 meses y menos del 0.10% de expansión en 6 meses (basado en SHRP C-342 Pag. 83). Debida consideración deberá también ser puesta a (pero no necesariamente limitado a) ambientes ácidos y ataques de sulfato.

² Todas las pruebas deben hacerse en muestras húmedas de concreto sumergidas o curadas por 56 días. Ver Cuadro 2.2 para información adicional y excepciones.

³ Un diseño de mezclas de Concreto de Gran Comportamiento es especificado por un grado para cada comportamiento característico deseado. Por ejemplo un concreto puede presentar grado 4 en resistencia a compresión y elasticidad, grado 3 en contracción y resistencia a erosión y grado 2 en las demás categorías.

4 Basado en SHRP C/FR-91

5 Basado en SHRP S-360

6 Basado en SHRP C/FR-91

7 Basado en PCA Engineering Properties of Commercially Available High-Strength Concrete.

8 Basado en SHRP C/FR-91

9 Basado en SHRP C/FR-91

10 Basado en SHRP C/FR-91

(*) Tomado de "High Performance Concrete Defined for Highway Structures", Charles H. Goodspeed, Suneel Vanikar y Raymond A. Cook. Revista Concrete International, febrero 1996, Pag. 63. (Traducción Libre al Español realizada por el grupo).

CUADRO 2.2 DETALLES DE LOS MÉTODOS DE PRUEBAS PARA LA DETERMINACIÓN DEL GRADO DE RENDIMIENTO EN LOS CONCRETOS DE GRAN COMPORTAMIENTO.*

| COMPORTAMIENTO CARACTERÍSTICO | MÉTODO ESTÁNDAR DE ENSAYO | NOTAS ¹ |
|---|---------------------------------------|--|
| CONGELAMIENTO-DES- HIELO DURABILIDAD | AASHTO T 161 ASTM C 666 Proc. A | 1- Especímenes de Prueba 76.2 x 76.2 x 279.4 mm(3 x 3 x 11 in), cilindros curados de 152.4 x 304.8mm (6 x 12 in). 2- Acústicamente medidos con módulo dinámico hasta 300 ciclos. |
| RESISTENCIA A LA DESCAMACIÓN | ASTM 672 | 1. Especímenes de Prueba que tengan una área superficial de 46, 451 mm ² (72 in ²). 2- Presentar inspección visual después de 50 ciclos. |
| ABRASIÓN | ASTM C 944 | 1- El concreto deberá ser probado en 3 diferentes puntos. 2- En cada punto, 98 Newton, por 3, 2 minutos periódicos de abrasión serán aplicados durante un total de 6 minutos de tiempo de abrasión por punto. 3- La profundidad de Abrasión será determinada por ASTM C 779 Procedimiento B. |
| PENETRACIÓN DE CLO- RURO. | AASHTO T 277 ASTM C 1202 | 1- Probar por el Método Estándar de Ensayo |
| RESISTENCIA | AASHTO T 22 ASTM C 39 | 1- Los moldes deberán ser rígidos, metálicos o plástico rígido para un solo uso. 2- Los cilindros serán 100 mm día x 200 mm long (3.9 x 7.8 in) ó 150 mm día x 300 mm long. (5.9 x 11.2 in). 3- Los extremos deben ser cabeceados con un material de cabeceo de alta resistencia o colocados con almohadillas de Neopreno AASHTO especificaciones para concreto. 4- Obtener la resistencia a los 56 días es recomendable. |
| ELASTICIDAD | ASTM C 469 | 1- Probar por el Método Estándar de Ensayo. |
| CONTRACCIÓN | ASTM C 157 | 1- Usar especímenes de 76.2 x 76.2 x 285 mm (3 x 3 x 11 in). 2- Medir la contracción a los 28 días después del curado húmedo y debe ser tomado durante un periodo de secado de 180 días. |
| FLUJO PLÁSTICO | ASTM C 512 | 1- Use especímenes de 152 x 305 mm (6 x 12 in). 2- Especímenes curados en 73F y 50 % HR (Humedad Relativa) depues de 7 días hasta cargarlo en 28 días. 3- La medida del flujo plástico debe ser tomado durante un periodo de carga de 180 días. |

¹ Ver Nota inferior en Cuadro 2.1 para periodo de curado a ser usado antes de la prueba.

*Tomado de "High Performance Concrete Defined for Highway Structures", Charles H. Goodspeed, Suneel Vanikar y Raymond A. Cook. Revista Concrete International, febrero 1996, Pag. 63. (Traducción Libre al Español realizada por el grupo).

CUADRO 2.3 RECOMENDACIONES PARA LA APLICACIÓN DE GRADOS DE CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO.*

| CONDICIÓN DE EXPOSICIÓN | GRADOS DE CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO RECOMENDADO PARA UNA CONDICIÓN DE EXPOSICIÓN DADA | | | | |
|--|---|--------------------|------------------------|------------------|---------|
| | N/A ² | GRADO 1 | GRADO 2 | GRADO 3 | GRADO 4 |
| Congelamiento/deshielo Durabilidad. (C/D) Exposición (x= F/T ciclos por año) ¹ . | $x < 3$ | $3 \leq x < 50$ | $50 \leq x$ | | |
| Resistencia a la descamación Sal Aplicada (x= ton/carril-millas-Año). | $x < 5.0$ | $5.0 \leq x$ | | | |
| Resistencia a la Abrasión (x= Tráfico Promedio diario, llantas dentadas permitidas). | — | $x \leq 50,000$ | $50,000 < x < 100,000$ | $100,000 \leq x$ | |
| Penetración de Cloruro Sal Aplicada ³ (x= ton/carril-millas-año). | $x < 1$ | $1.0 \leq x < 3.0$ | $3.0 \leq x < 6.0$ | $6.0 \leq x$ | |

¹ F/T (Freeze/Thaw), congelamiento y deshielo (C/D). Un ciclo de congelamiento y deshielo es definido como un evento donde el concreto saturado esta sujeto a una temperatura ambiente con caídas bajo -2.2°C (28°F) seguido por un alce en temperatura arriba del congelamiento.

²N/A para "No aplicable" y indica una situación en la cual un grado de comportamiento de Concreto de Gran Comportamiento es innecesario.

³Como se define en SHRP S-360.

*Tomado de "High Performance Concrete Defined for Highway Structures", Charles H. Goodspeed, Suneel Vanikar y Raymond A. Cook. Revista Concrete International, febrero 1996, Pag. 63. (Traducción Libre al Español realizada por el grupo).

2.2.2 CONCRETOS DE GRAN COMPORTAMIENTO Y ALTA RESISTENCIA.

La traducción de los términos High Performance Concretos (Concretos de Gran Comportamiento), en diversos países ha generado que estos se conozcan como:

- **Concretos de Comportamiento Diseñado.**
- **Concretos de Alto Comportamiento.**
- **Concretos de Altas Prestaciones.**

- **Concretos de Alto Desempeño**
- **Concretos de Alto Rendimiento**
- **Concretos de Alta Performance.**

Según las definiciones dadas anteriormente se comprende que los Concretos de Alta Resistencia forman parte de los Concretos de Gran Comportamiento porque junto a su alta resistencia ofrecen además mayor módulo de elasticidad, una permeabilidad muy baja, una mayor resistencia al congelamiento y deshielo, y por lo tanto mayor durabilidad. Los Concretos de Gran Comportamiento se pueden producir también usando agregados ligeros o de alta densidad y la clasificación de estos puede hacerse tomando como parámetro el tipo de agregado utilizado, tomando una característica en estado fresco, en proceso de fraguado o estado endurecido del concreto. Lo importante es que se cumpla la definición de Alto Comportamiento es decir fácil colocación, de alta resistencia y gran durabilidad. Por lo tanto el Concreto de Alta Resistencia solo es un tipo de los Concretos de Gran Comportamiento y su definición tiene un carácter temporal y geográfico, ya que el nivel máximo de resistencia a compresión alcanzado en cada época y región es considerado como alta resistencia, sin embargo El Estado del Arte de Concretos de Alta Resistencia (ACI 363) los define como: aquellos que alcanzan resistencia a la compresión mayores de 410 Kg/cm^2 (6000 PSI) y como la tendencia a incrementar la resistencia a compresión continua, cuando se alcanzan los 1000 Kg/cm^2 (14300 PSI), o mayores resistencias a compresión, estos son llamados Concretos de Ultra Alta Resistencia o de muy Alta Resistencia.

2.3 TIPOS DE CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO

El diseño y clasificación de un tipo especial de Concreto de Gran Comportamiento depende de considerar los siguientes aspectos fundamentales:

- a) Tipo y servicio de la estructura donde se usará el concreto.
- b) Medio ambiente de la estructura.
- c) Tipos de carga que actúan sobre la estructura.

a) TIPO Y SERVICIO DE LA ESTRUCTURA DONDE SE USARA EL CONCRETO.

Reconocer el tipo y servicio que va a prestar la estructura a construir nos dará una clara idea de las propiedades que deberemos de exigirle al concreto, por ejemplo las exigencias en un concreto para una columna de un edificio son muy diferentes a las de un concreto para pavimentos de carretera. En este caso la colocación del concreto es diferente, en las columnas existen zonas de alta concentración de acero de refuerzo, lo que impone un concreto con mucha fluidez para su fácil colocación, caso contrario en carreteras. El tipo de estructura, los diseños estructurales y los procesos constructivos a menudo imponen las características del concreto, en estructuras voluminosas como en presas el requisito principal impuesto al concreto es que posea un bajo calor de hidratación y sea impermeable, en edificios de gran altura que el concreto para las columnas posea gran resistencia a la compresión, en plataformas marinas que tenga peso liviano y sea de gran durabilidad y en plantas nucleares que sea de alta densidad o pesado.

b) MEDIO AMBIENTE DE LA ESTRUCTURA.

Dependiendo de las condiciones a las que estará expuesta la estructura así será el tipo de concreto a diseñar, las condiciones climáticas exigen comportamientos diferentes al concreto en climas cálidos, fríos, húmedo, seco o con posibilidades de sufrir ciclos de congelamiento y deshielo, es también muy importante considerar el potencial químico al cual la estructura puede estar sometida ya que este tipo de agentes degradantes puede estar en el aire, en el agua o en el suelo donde se desplante la estructura.

c) TIPO DE CARGA QUE ACTÚAN SOBRE LA ESTRUCTURA.

El tipo de carga a que estará sometida la estructura, permitirá definir los parámetros para realizar el análisis estructural y sobre todo la importancia que significa identificar las cargas que actuarán sobre el concreto como cargas dinámicas, cargas por viento o cargas hidráulicas que obliguen a diseñar un Concreto de Gran Comportamiento que se comporte adecuadamente y que represente en la realidad todas las hipótesis que el ingeniero al diseñar la estructura tomó en cuenta para la estructuración de la misma.

Considerar los aspectos fundamentales anteriormente mencionados permitirá idear el tipo de Concreto de Gran Comportamiento requerido con un comportamiento diseñado de acuerdo a la necesidad de cada obra a construir, nos ayudará a tomar en cuenta la selección de los materiales apropiados, optimizar las proporciones de las mezclas, planear la colocación y el curado para así obtener el comportamiento deseado del concreto. El diseño de un tipo especial de Concreto de Gran Comportamiento puede cumplir con los requisitos que las exigencias de las obras a construir imponen como puede ser una mejora de las siguientes propiedades del concreto: bajo calor de hidratación, baja permeabilidad, estabilidad volumétrica, alta trabajabilidad, control de tiempos de fraguado, baja posibilidad

de agrietamiento, alta resistencia a la compresión, al impacto, a la abrasión y sobre todo mejorar la durabilidad.

Los diferentes tipos de Concreto de Gran Comportamiento que se describen a continuación son diseñados y aplicados con mayor frecuencia por ofrecer una mejora en las propiedades del concreto al aplicar el concepto de Gran Comportamiento resultando sobre todo estructuras de concreto con mayor durabilidad.

2.3.1 CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA.

Es uno de los concretos de Gran Comportamiento que se utiliza con mayor frecuencia en estructuras especiales, como en edificios de gran altura, puentes de grandes claros y elementos prefabricados de grandes dimensiones etc. Su característica principal son los altos contenidos de cemento y las relaciones de agua- cementantes bajas, logrando resistencias desde 410 kg./cm² hasta 1200 kg./cm² ó inclusive mayores.

2.3.2 CONCRETO LIGERO DE GRAN COMPORTAMIENTO

Estos concretos pueden ser diseñados con resistencias altas, la reducción en su peso se debe al uso de agregados ligeros, logrando densidades del concreto entre 300 y 1800 kg./m³, también ofrecen una excelente durabilidad, reducido microagrietamiento y alta capacidad a las tensiones térmicas, son utilizados en estructuras marinas flotantes y en losas o placas para edificios.

2.3.3 CONCRETOS AUTOCOMPACTABLES DE GRAN COMPORTAMIENTO.

Son diseñados para obtener alta trabajabilidad o fluidez, esto se logra con el uso de aditivos superplastificantes dosificados adecuadamente, permitiendo llenar las formaletas sin

aplicar vibración, resultando un fácil colado en elementos estructurales con alta densidad de acero de refuerzo o en aquellos que tengan una forma irregular. Estos concretos también ofrecen suficiente resistencia a la compresión y alta durabilidad.

2.3.4 CONCRETO DE PESO PESADO DE GRAN COMPORTAMIENTO.

Estos se obtienen usando agregados naturales de alta densidad como hematitas, magnetitas, ilemitas, o usando agregados industriales de alta densidad como hierro, acero o ferrofósforo, con estos se logra aumentar la densidad del concreto de 3500 kg./m^3 hasta 5500 kg./m^3 . Son usados en paredes para protección de radiaciones, en contrapesos para puentes, muertos de anclaje y fundaciones especiales.

Cualquier otra modalidad de Concretos de Gran Comportamiento es posible con el uso de nuevos aditivos químicos, materiales cementantes y mejor tecnología, permitiendo desarrollar concretos especiales diseñados para realizar funciones específicas de diseño y construcción por medio de propiedades mecánicas, estructurales y de durabilidad extraordinarias.

2.4 CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO EN AMBIENTES SEVEROS.

Cuando se proyectan y diseñan costosas e importantes estructuras de concreto para largos períodos de servicio y sometidas a la acción de ambientes agresivos, es conveniente tomar en cuenta el tipo de concreto a emplear. Tradicionalmente el parámetro más destacable en el concreto ha sido su resistencia mecánica, pero con el uso de aditivos y adiciones se ha logrado fabricar concretos que han sido denominados de Gran Comportamiento. Estos concretos unen los conceptos de calidad y alta resistencia, si bien es cierto que la calidad del concreto tiene relación con la capacidad de resistir las acciones de servicio, este es un concepto más amplio que la resistencia y que hace referencia directa a la durabilidad del concreto, a la capacidad de este para protegerse a si mismo y al acero de refuerzo de agentes agresivos que causen un deterioro generalizado en la estructura.

La durabilidad del concreto depende de la permeabilidad de éste, sin embargo una característica del Concreto de Gran Comportamiento es su alta densidad y compacta microestructura, que lo vuelven resistente a los ataques de elementos agresivos. Según el ACI 201 (Durabilidad del Concreto) la durabilidad es la capacidad del concreto para resistir la influencia de las acciones deletéreas presentes en el propio material o en el medio al que esta expuesto el concreto. La durabilidad del concreto esta condicionada por factores como: la relación agua-cemento, hechura, transporte, colocación y en forma determinante por las condiciones de exposición a las que estará sometido el concreto durante su vida útil.

De forma básica las agresiones que sufre el concreto se pueden clasificar en :

- i) INTERNAS.**
- ii) EXTERNAS.**

Las agresiones internas que sufre el concreto, son causadas por la reacción de los agregados con el cemento hidratado, generalmente se hace énfasis en la protección contra ataques externos que pueden afectar al concreto y se toman diferentes medidas que impidan o retrasen la acción de los agentes agresivos, pero esas medidas quedan invalidadas cuando no se ha tomado en cuenta la reactividad potencial de los agregados con el cemento, que puede ocasionar en el concreto endurecido expansión, agrietamiento y la consecuente pérdida de resistencia.

Las agresiones externas al concreto son una compleja mezcla de factores físicos, químicos y mecánicos que son ocasionados por causas ambientales como la acción del agua de mar, ciclos de humedecimiento y secado, y temperaturas extremas también influyen acciones electrolíticas asociadas a diversos procesos electroquímicos que dañan principalmente al acero de refuerzo además las concentraciones nocivas de líquidos a altas velocidades causan abrasión sobre la superficie del concreto. En el cuadro No. 2.4 se muestra la clasificación de los agentes agresivos y su acción sobre el concreto.

Uno de los problemas más frecuentes en el Concreto de Gran Comportamiento, son las grietas que se pueden originar por altos contenidos de cemento. Como es conocido las grietas y su formación tienen importancia decisiva para la durabilidad del concreto, ya que facilitan a los agentes agresivos el deterioro del concreto y el acero de refuerzo de la estructura, otros aspectos que pueden causar grietas en el concreto son los efectos de tensión, flexión y la expansión de volumen por sales, efectos osmóticos y presiones de cristalización.

CUADRO No. 2.4 CLASIFICACIÓN DE LOS AGENTES AGRESIVOS Y SU ACCIÓN*

| GRUPO | ESPECIFICACIÓN | EFFECTOS SOBRE EL CONCRETO |
|----------------------------|--|--|
| EFFECTOS MECÁNICOS | 1. Cargas, cargas excesivas y choques | 1. Grietas, principalmente en el ligante |
| | 2. Impactos y fricción. | 2. Erosión, trituración. |
| | 3. Corrientes de agua y aire. | 3. Erosión, cavitación. |
| EFFECTOS FÍSICOS | 1. Diferencias y variaciones de temperatura | 1. Grietas, desconchamientos, pérdida de adherencia. |
| | 2. Diferencias y variaciones de temperatura | 2. Grietas y fallas en la adherencia. |
| | 3. Congelación (alternada) | 3. Grietas y fallas en la adherencia. desconchamiento |
| | 4. Fuego y altas temperaturas. | 4. Grietas, cambios químicos. |
| | 5. Corrientes eléctricas y radiaciones | 5. Corrosión del refuerzo, disolución del ligante. |
| EFFECTOS QUÍMICOS | 1. Aire y otros gases. | 1. Disolución del ligante con reacciones: H_2S , SO_2 , CO_2 Y NH_3 . |
| | 2. Aguas agresivas | 2. Disolución del ligante; reacciones con H_2SO_4 , Sulfatos, aguas carbonatadas, cloruros |
| | 3. Químicos. | 3. Reacciones de sales ácidas y ácidos. |
| | 4. Suelos y suelos minerales | 4. Reacciones con ácidos débiles, sales de sulfatos con aluminosilicatos de potasio calcio, bario. |
| EFFECTOS BIOLÓGICOS | 1. Vegetación | 1. Grietas, huellas provenientes de jugos, humedad. |
| | 2. Microorganismos (bacterias, formas de vida orgánica microscópica) | 2. Formación de sulfatos, debilitamiento mecánico de la textura. |

*Tomado de "DURABILIDAD DEL CONCRETO", asociación Venezolana de productores de Cemento, 1974, Pag. 15.

2.4.1 CAUSAS INTERNAS.

2.4.1-1 REACCIONES QUÍMICAS EN LOS AGREGADOS.

En la elaboración del concreto se usan materiales heterogéneos que al ser mezclados forman una pasta con propiedades adhesivas y cohesivas, que se comporta como un material homogéneo. Para que esto sea efectivo es necesario que los agregados y la pasta de cemento sean compatibles y no ocasionen reacciones que afecten su cohesividad. Hasta los años 40 se consideraba que los agregados del concreto eran simples minerales químicamente inertes, pero estudios posteriores revelaron que las reacciones químicas de

estos podían tener un efecto significativo en el comportamiento del concreto. Ahora se sabe que los agregados no solo comparten cambios volumétricos y deformaciones, si no que también participan de manera activa en las reacciones químicas que se generan en la matriz del concreto. Estas reacciones químicas pueden ser benéficas o dañinas, existe una reacción llamada "Epitaxia" que mejora la adherencia entre los agregados calizos y la pasta de cemento, pero la mayor parte de veces las reacciones que se generan entre los agregados y la pasta de cemento son perjudiciales, debido a que causan expansión, afectando así la permeabilidad, la durabilidad y la resistencia del concreto.

Al principio se creía que los efectos deletéreos de los agregados, eran consecuencia del silicio contenido en estos, por lo que se hacia referencia al tema como reacción álcali-agregado, más tarde se demostró que ciertas calizas dolomíticas también reaccionaban con el cemento y en cuyo caso no hay presencia de sílice, por tal motivo se opto por diferenciar ambos efectos llamándolos respectivamente Reactividad Álcali-Sílice y Reactividad Álcali-Carbonato.

a) REACCIÓN ÁLCALI-SÍLICE.

La reacción Álcali-Sílice, es una reacción Físico-Química que se da entre los hidróxidos alcalinos Na_2O y K_2O que contiene el cemento y el SiO_2 que se encuentra como mineral petrográfico en los agregados, esta reacción de tipo sólido-líquido forma una gel de silicato-alcalino que aumenta su volumen en presencia del agua, como consecuencia de esta expansión se generan presiones internas que causan agrietamiento en el concreto, también puede ocurrir que el dióxido de silicio reaccione con los hidróxidos de sodio, potasio y calcio del cemento formando un sólido sin capacidad de expansión, en todo caso la ocurrencia de uno u otro efecto dependerá del contenido de álcalis del cemento y la cantidad de sílice reactiva de los agregados.

Entre las formas de sílice que se consideran dañinas tenemos: las amorfas, microcristalinas, criptocristalinas y cristalinas, estas formas de sílice son muy abundantes en la naturaleza, por lo que la posibilidad de su uso no debe descartarse.

La reacción Álcali-Sílice solo se produce en grado perjudicial si existen los siguientes factores:

i) Cementos con Alto Contenido de Álcalis.

ii) Sílice reactiva en los agregados.

iii) Presencia de humedad en el concreto.

i) Cementos con Alto Contenido de Álcalis.

Siempre que la disponibilidad de materiales no reactivos sea escasa, se puede usar materiales reactivos, toda vez el cemento sea de bajo contenido de álcalis, esto es sí posee menos del 0.6% de álcalis total expresada como Na_2O , 0.6% es el límite del cemento portland dado por la ASTM C 150 en cuanto al contenido de Álcalis. Aunque se han documentado casos donde la protección dada por estos cementos no ha sido capaz de evitar el desarrollo de la reacción en el concreto endurecido.

Hay que mencionar que cada vez resulta más caro para los productores y constructores fabricar y usar respectivamente este tipo de cemento. El contenido de álcalis depende de las materias primas y del proceso de fabricación, eliminar el álcalis implica un gasto energético muy alto, al calcinar el clinker los álcalis se volatilizan y son enviados a la parte más fría del horno donde se condensan y son devueltos a la zona de calcinación, formando así un ciclo, cuando se quiere eliminar el álcalis los gases son desviados fuera del horno, esto hace perder eficiencia térmica al horno necesitando mucho más combustible para mantener el calor, además los gases ricos en polvo disminuyen la producción haciéndose necesario aumentar la cantidad de materias primas, también la expulsión de gases a la atmósfera en la actualidad es prohibida, por lo que se requiere de sistemas recolectores de polvo, todos

estos son factores que indudablemente encarecen los costos de producción haciendo más difícil la aplicación de medidas para disminuir el álcalis del cemento y la disponibilidad de estos cementos en el mercado.

La adición de materiales puzolánicos puede ser un medio efectivo para reducir la reacción álcali-sílice, el uso de puzolanas es una alternativa económica, toda vez cumpla lo establecido en la ASTM C 618, además la efectividad de las puzolanas para detener el efecto álcali-sílice puede verificarse con la norma ASTM C 441. La puzolana se considera adecuada si reduce como mínimo la expansión en un 75% a los 14 días de edad, la proporción de puzolana con respecto al cemento, puede ser determinada en base a la ASTM C 595 y se aceptará si la expansión es menor a 0.02% a los 14 días y 0.06 a los 56 días.

Las puzolanas son adecuadas para inhibir la expansión álcali-sílice por su finura, al adicionarse al concreto proporcionan una rápida reacción con los álcalis del cemento, produciendo una reacción de geles silico-alcálicos de baja solubilidad, que no se expanden, reduciendo así la concentración de álcalis en la pasta, evitando así reacciones con los agregados.

Al usar puzolanas debe tenerse en cuenta que el costo de la obra puede ser afectado, además estas requieren cantidades mayores de agua, lo que puede provocar efectos de contracción por secado, causando daños al concreto. Es conveniente que al proporcionar la puzolana y el cemento se tenga en cuenta hacerlo con la menor cantidad posible, para disminuir los costos y el contenido de álcalis aportado por ambos materiales a la matriz del concreto.

ii) Sílice Reactiva en los Agregados.

Para que un agregado sea considerado potencialmente reactivo debe tomarse en cuenta si posee sílice calificada como reactiva, que esta se encuentre en proporción suficiente para reaccionar, la granulometría y el tamaño de los agregados. Generalmente los componentes deletéreos de los agregados son óxidos, sulfuros, vidrio volcánico, sulfatos de calcio, zeolitas, arcillas y calizas dolomíticas, todo estos son elementos potencialmente reactivos, que únicamente difieren entre sí, en el tipo de reacción que generan y la velocidad con que se produce, una vez que estos elementos inician una reacción no hay forma de detenerla y los daños causados al concreto son muchos.

Con respecto a la proporción de sílice reactiva, esta varía de acuerdo con el grado de reactividad de cada material, hay agregados que poseen cantidades de sílice en proporciones muy pequeñas, que a veces no pueden ser detectadas, pero que son en extremo reactivas al entrar en contacto con el cemento, en cambio hay otros agregados que pueden ser mezclados con cementos de alto contenido de álcalis, sin producir mayores problemas deletéreos en el concreto.

En cuanto al tamaño del agregado aun no hay una teoría definitiva, a menudo se afirma que los agregados muy finos o muy gruesos reaccionan con menores efectos dañinos sobre el concreto que los agregados del tamaño de la arena, esto es porque las partículas finas reaccionan muy rápido con la álcalis del cemento, produciendo una reacción inofensiva, mientras que las partículas gruesas se tardan mucho en reaccionar, ocasionando sus efectos a largo plazo, tiempo suficiente para que las arenas ya hayan causado serios estragos en el concreto.

CUADRO 2.5 MINERALES QUE CAUSAN REACCIONES DAÑINAS EN EL CONCRETO.*

| SUSTANCIA REACTIVA | COMPOSICIÓN QUÍMICA | CARACTERÍSTICAS FÍSICAS |
|---|--|---|
| Ópalo | $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ | Amorfa |
| Calcedonia | SiO_2 | Desde microcristalina hasta cripto cristalina; comúnmente fibrosa |
| Algunas formas de Cuarzo | SiO_2 | a) Desde microcristalina hasta cripto cristalina. b) Cristalina pero intensamente fracturada, tensionada y/o con gran número de inclusiones. |
| Cristobalita | SiO_2 | Cristalina |
| Tridomita | SiO_2 | |
| Cristales riolíticos, dacíticos, latíticos, o andesíticos, o productos criptocristalinos de la descristalización. | Silíceos con pequeñas cantidades de Al_2O_3 , Fe_2O_3 , tierras alcalinas y álcalis. | Cristales o materiales criptocristalinos tales como matrices de rocas volcánicas o fragmentos volcánicas o fragmentos de tufas. |
| Cristales silíceos sintéticos | Silíceos con pequeñas cantidades de álcalis, aluminio y/o otras sustancias. | Cristal |

* Tomado del ACI 201, "Durabilidad del concreto", IMCYC, 1988. Pag. 63.

CUADRO 2.6 ROCAS QUE PROVOCAN REACCIONES ALCALINAS PERJUDICIALES AL CONCRETO.*

| ROCAS | COMPONENTE REACTIVO |
|--|---|
| <p>1- IGNEAS</p> <p>GRANITO GRANODIORITAS CHARNOCRITAS</p> <p>PIEDRA PÓMEZ RIOLITAS ANDESITAS DACITAS LATTITAS PERLITAS OBSIDIANAS TOBAS VOLCÁNICAS</p> <p>BASALTOS</p> | <p>Mas de 30% de cuarzo deformado, caracterizado por extensión ondulatoria.</p> <p>Cristales volcánicos ricos en sílice, de ácidos intermedios, cristal desvitrificado tridita.</p> <p>Calcedonia, Ópalo, Palagonita.</p> |
| <p>2- METAMÓRFICAS</p> <p>GNEISES ESQUISTOS CUARCITAS</p> <p>CORNEANAS FILITAS ARGLITAS</p> | <p>Mas de 30% de cuarzo deformado, caracterizado por extinción ondulatoria, 5% o mas de caliza.</p> <p>Filosilicatos, cuarzo deformado.</p> |
| <p>3- SEDIMENTARIAS</p> <p>ARENISCAS GRAUVACAS CALIZA</p> <p>PEDERNAL</p> <p>DIOMITICA</p> <p>CARBONATOS</p> | <p>Cuarzo deformado 5% o mas de Caliza.</p> <p>Filosilicatos, cuarzo deformado, cuarzo criptocristalino, Chaldenony, ópalo.</p> <p>Ópalo, cuarzo criptocristalino</p> <p>Dolomitica, Filosilicatos.</p> |

* Tomado de "Memorias Técnicas de la Reunión del Concreto . Ing. José Gabriel Gómez, Asocreto, Colombia, vol. 4

iii) Presencia de Humedad en el Concreto.

La humedad es uno de los parámetros más determinantes para que ocurra la reacción álcali-sílice, aunque no siempre este fenómeno es cierto, algunos agregados pueden reaccionar de manera negativa, produciendo expansión en el concreto, sin que haya

presencia de agua. Sin embargo este efecto necesita de largo tiempo para alcanzar niveles destructivos, algunos estudios sugieren que lo más perjudicial son los ciclos de humedecido y secado a que el concreto puede estar sometido, una medida de protección es impermeabilizar la superficie del concreto, pero esto no evitara que ocurra expansión en el concreto, si en este hay condiciones para que se genere la reacción álcali-sílice, aunque en estudios recientes se noto que la gel silico-alcálico puede perder la capacidad de expandirse después de unos 4 meses, de ser cierto este comportamiento, podría protegerse del agua el concreto durante ese tiempo y si no se elimina la reacción por lo menos se reduce a niveles mínimos que eviten daños mayores al concreto.

El comité ACI 201 sugiere realizar pruebas a los agregados, para determinar la reactividad álcali-sílice, la existencia de Sílice Reactiva en los agregados se puede detectar efectuando un análisis petrográfico según la Norma ASTM C 295, donde se citan los parámetros para aceptar o rechazar el uso del agregado, pero la presencia de Sílice Reactiva en cantidades dañinas es tan solo un indicio de riesgo para el concreto. Una evaluación mas precisa se puede efectuar con la ASTM C 289 que es una prueba química para determinar la reactividad potencial del agregado de forma rápida. La prueba que más se realiza es la de barra de mortero ASTM C 227 donde se evalúa la reactividad potencial del agregado.

En muchos casos la efectividad de las pruebas para determinar la reacción álcali-sílice se vuelve cuestionable, los resultados de la prueba ASTM C 289 se obtienen rápido, prediciendo si el agregado es deletéreo o no, pero si hay presencia de carbonatos de magnesio, dolomita, magnesita, siderita, serpentina y calcita los resultados se tornan dudosos, haciendo difícil detectar reactividad en el agregado. La norma ASTM C 227 mide la expansión que provoca la reacción álcali-sílice en el mortero, juzgando los resultados a 3 y 6 meses, pero esto no es muy representativo debido a que, en esta prueba se tritura la grava reduciéndola al tamaño de arena, ocasionando expansión más rápido que la grava de

tamaño normal, además el cuarzo metamórfico o rocas carbonatadas reaccionan muy lento, haciendo que la expansión en el tiempo de prueba de 3 a 6 meses sea leve y sería erróneo concluir en cuanto a la potencialidad de reacción del agregado, pero a pesar de las limitaciones la prueba de barra de mortero ASTM C 227, aún es el método más usado y confiable, para identificar las reacciones deletéreas en los agregados, que pueden afectar el concreto.

b) REACTIVIDAD ALCALI-CARBONATO.

La reactividad Álcali-Carbonato, ha sido menos estudiada que la reactividad Álcali-Sílice, por ser menos frecuente y peligrosa, esta se limita a rangos específicos de composición de la roca, la reactividad Álcali-Carbonato es una reacción que se da entre los álcalis del cemento, presentes en el concreto y las rocas carbonatadas, produciendo expansión y agrietamientos perjudiciales en el concreto. La reacción se asocia principalmente con calizas dolomíticas arcillosas, que causan un proceso conocido como dedolomitización, originando la formación de brucita y la regeneración del álcalis.

Según el comité ACI 201 (Durabilidad del Concreto) la exposición es causada por minerales que contienen arcilla dolomítica y que aumentan su volumen cuando quedan expuestos a la humedad, un fenómeno que es relacionado con la reacción álcali-carbonato es el crecimiento de anillos que se extienden concéntricamente al interior del agregado en rocas carbonatadas, esto es debido a un cambio en la disposición de sílice y carbonato, contenido entre el agregado y la pasta de cemento que lo rodea.

El efecto de la relación álcali-carbonato, puede causar agrietamientos severos en las partes donde el concreto está expuesto a ciclos de secado y humedecido como son muelles, paramentos internos de muros de contención y presas, losas al aire libre y columnas.

Entre los factores que intervienen en la reactividad álcali-carbonato están: la heterogeneidad de los agregados, tamaño de los agregados, permeabilidad del concreto, uso de cloruros para descongelar y ciclos de secado y humedecido a que esta sometido el concreto.

Entre las pruebas que podemos realizar para determinar la reactividad álcali-carbonato, esta el examen petrográfico de los agregados, aunque lo preferible para detectar la presencia de dolomitas en la roca es usar la norma ASTM C-586, también podemos realizar la expansión de prismas de concreto, estos se fabrican con los mismos materiales que se emplearan en la obra y luego se almacenan a una temperatura de 23°C, se puede para acelerar la expansión usar álcali y comparar con una muestra de control que no posea agregado reactivo, el ACI 201 sugiere que si la expansión no es superior a 0.02% en un lapso de tiempo de 82 días, es poco probable que se presente reactividad. Otras pruebas sugeridas son: la dilatación del agregado en forma de polvo fino en presencia de álcalis en la prueba de la celda de polvo y un análisis petrográfico del concreto.

2.4.2 CAUSAS EXTERNAS

2.4.2-1 ATAQUE QUÍMICO AL CONCRETO.

Las acciones químicas sobre el concreto tienen su origen de forma esencial en el agua y en las sustancias disueltas en esta. El concreto se vuelve vulnerable cuando es atacado por sustancias químicas en suspensión que ejercen una presión sobre su superficie, obligando al fluido agresivo a penetrar en los poros del concreto. Pero el concreto no solo esta expuesto al ataque de sustancias en suspensión, si no que también al ataque de gases agresivos, provenientes de procesos de combustión e industriales, los gases penetran los poros del concreto y reaccionan con el agua contenida en estos, produciendo ácidos que causan corrosión en el acero de refuerzo y deterioro al concreto.

En su mayoría las sustancias químicas que atacan al concreto son ácidos y sulfatos, los cuales de acuerdo a las condiciones de exposición y la composición misma del concreto pueden formar otras reacciones que afecten al concreto. En el siguiente cuadro se muestran agentes agresivos al concreto y sus consecuencias.

CUADRO 2.7 AGENTES AGRESIVOS AL CONCRETO Y SUS CONSECUENCIAS.

| FORMA O CONSECUENCIA | AGRESOR |
|-----------------------------|--|
| DILUCION | Ácidos, sales, aguas residuales, agua pura, bacterias. |
| EXPANSIÓN | Sulfatos, sales, corrosión. |
| CARBONATACION. | Dioxido de carbono. |
| EXPANSION-DILUCION. | Sales. |
| LIXIVIACIÓN. | Sales. |

La acción de las sustancias químicas depende de las siguientes condiciones:

- 1.- Propiedades del agente agresivo, intensidad y concentración.
- 2.- Propiedades del concreto y de sus componentes desde el punto de vista de la relación con los agentes agresivos.
- 3.- Intensidad del contacto entre los agentes agresivos y el concreto que depende de la superficie en contacto, la concentración química y la porosidad del concreto.

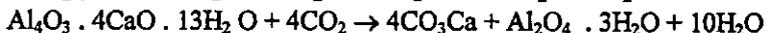
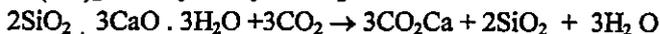
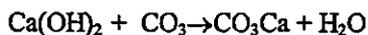
CUADRO 2.8 EFECTO DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS COMUNES EN EL CONCRETO.*

| VELOCIDAD DE ATAQUE A TEMPERATURA AMBIENTE. | ÁCIDOS INORGANICOS | ÁCIDOS ORGANICOS | 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 Liquido |
| LENTA | Carbónico | — | Hidróxido de Sodio 10-20% Hipoclorito de sodio | Cloruro de Amonio Cloruro de Magnesio Cloruro de Sodio | Cloro (gas) Agua de mar Agua dulce |
| DESPRECIABLE | — | Oxálico Tartárico | Hidróxido de Sodio 10% Hipoclorito de Sodio Hidróxido de Amonio | Cloruro de Calcio Cloruro de Sodio Nitrato de Zinc Cromato de Sodio | Amoniaco Liquido |

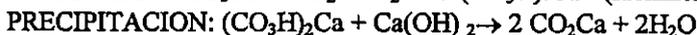
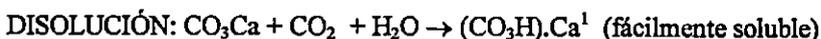
*Tomado de ACI 201 "DURABILIDAD DEL CONCRETO", IMCYC, 1988 . Pag. 3

CUADRO 2.9 REACCIONES DE LAS PASTAS DE CEMENTO ENDURECIDAS CON ALGUNAS SALES DE AMONIACO Y DE MAGNESIO CON AGREGADO SENSIBLES A LA REACCIÓN CON LOS ÁLCALIS Y DE OTROS DE CARÁCTER APALINO, EN FORMULACIÓN ESTEQUIOMÉTRICA. *

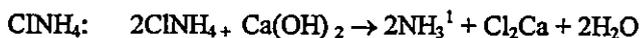
1.- CARBONATACION (Acción del carbónico del aire) sobre tres productos de hidratación.



2.- ACCION DE AGUAS CARBONICAS: Disolución y Precipitación de carbonato cálcico.

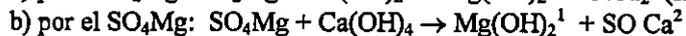
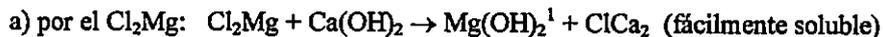


3.- ACCIÓN DE LAS SALES AMONIACALES



¹ Gaseoso

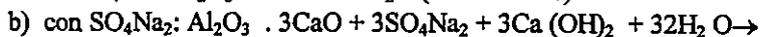
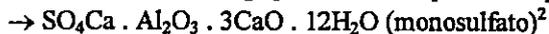
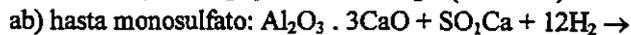
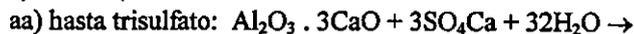
4.- REACCIÓN DE LA MAGNESIA (parcialmente el agua del mar)



¹ Precipitado. ² Cristalización de yeso o formación de etringita (ver 5)

5.- REACCIÓN DE LOS SULFATOS CON Al_2O_3 (todos los sulfatos, agua selenitosa, agua de mar, parcialmente cemento expansivo)

a) con SO_4Ca



¹ Etringita, fase AF

² Etringita, fase Afm.

* Tomado de "Cemento, Fabricación - Propiedades - Aplicaciones". Dr. Thil. Frits Keil, editores técnicos Asociados, España, 1973, Pag. 298.

a) ATAQUES POR SULFATOS.

El ataque de los sulfatos es uno de los problemas más frecuentes en las estructuras de concreto que poseen superficies expuestas a la acción de la evaporación. Los sulfatos de Sodio, Calcio, Magnesio y Potasio están presentes en las aguas subterráneas, de mar, en suelos generalmente arcillosos y en aguas negras e industriales en forma de ácido sulfúrico.

Los sulfatos son fundamentales para la biomasa y su abundancia en la naturaleza es muy grande, el contenido de sulfatos en las aguas subterráneas depende de la cantidad de piritas, yeso, materia orgánica, velocidad del agua freática, aireación y posibilidad de evaporación es por eso que los pantanos, lagos y aguas superficiales tienen altos contenidos de sulfatos. Los procesos de descomposición biológica de sustancias orgánicas albuminoideas que contienen azufre también generan sulfatos, los abonos usados en zonas agrícolas aumentan el contenido de azufre en el subsuelo de forma rápida, debido a que los surcos de los cultivos facilitan la aireación del azufre, además las materias fecales incrementan el contenido de sulfatos y las plantas durante su descomposición aerobia forman sulfatos cálcicos, potásicos y sódicos.

En el concreto los sulfatos atacan los granos de clinker hidratados, formando en esta combinación sulfato de calcio (yeso) a su vez este compuesto reacciona con el aluminato tricalcico hidratado, formando sulfoaluminato de calcio, que es poco soluble y crea fuertes presiones que agrietan la pasta del cemento debido al aumento de volumen.

Entre los sulfatos que comúnmente atacan al concreto tenemos:

- **Sulfato de Magnesio ($MgSO_4$)** uno de los más agresivos, por la acción combinada de los sulfatos y el magnesio, para concentraciones de 4000 Mg/Lt o menos la agresión es causada principalmente por el sulfato, si la concentración es mayor de 4000 Mg/Lt el ataque es

causado por el magnesio, las agresiones por magnesio son más rápidas que las causadas por carbonatos.

- **Sulfato de Sodio (Na_2SO_4)** altamente agresivo al cemento hidratado, si el contenido de sulfatos es hasta 1000 Mg/Lt la agresión es causada por los mismos sulfatos (sulfato-aluminosa), si la concentración aumenta se inicia la acción del yeso, pero esta relación no es problemática a menos que haya una alta concentración.

- **Sulfato de Calcio (CaSO_4)** más agresivo que los sulfatos de sodio y magnesio, genera una reacción de tipo Físico-Químico entre el sulfato de calcio y el aluminato de calcio hidratado, se expande al formarse el yeso en los poros capilares hasta causar deterioro por agrietamiento en el concreto.

Hoy en día la agresión de los sulfatos se puede controlar usando concretos densos que tengan relaciones agua-cemento bajas y cementos con resistencia al ataque de los sulfatos. Es importante que el cemento tenga un bajo contenido de aluminato tricalcico (C_3A), debido a que este compuesto reacciona fácilmente con los sulfatos. Según la norma ASTM C 150 el cemento tipo II (de resistencia moderada a los sulfatos) debe tener un máximo de 8% de C_3A y el cemento tipo V (de resistencia elevada a los sulfatos) debe contener un máximo de 5% de C_3A . El silicato tricálcico (C_3S) es más resistente al ataque de los sulfatos y su acción mejora la resistencia inicial del concreto y el comportamiento frente a la expansión. El ferroaluminato tetracalcico (C_4AF) parece tener buen desempeño ante la acción de los sulfatos, pero un alto contenido de C_4AF puede ocasionar daños al concreto ante la presencia de sulfatos, en el cemento tipo V el contenido de C_4AF no debe exceder el 20% además la ASTM C 150 establece que la concentración de ferroaluminato tetracalcico mas dos veces el aluminato tricalcico ($\text{C}_4\text{AF} + 2\text{C}_3\text{A}$) para cemento tipo V no debe ser mayor al 25%.

Los cloruros de sodio y magnesio actúan de forma favorable sobre la resistencia a los sulfatos, debido a que reducen significativamente el sulfoaluminato de calcio, el cual se forma en cristales débiles, en cambio el cloruro de calcio forma con gran rapidez el sulfoaluminato de calcio, debido a la gran solubilidad del aluminato tricálcico. En el cuadro se muestran algunos valores sobre la relación agua-cemento y el tipo de cemento, para concretos expuestos a la acción de sulfatos.

CUADRO 2.10 RECOMENDACIONES PARA EL CONCRETO DE PESO NORMAL EXPUESTO A ATAQUES DE SULFATOS.*

| GRADO DE EXPOSICIÓN | Sulfato (SO₄) Hidrosoluble contenido en el suelo (%). | Sulfato (SO₄) Contenido en el agua ppm | Cemento | Máxima Relación agua/cemento. |
|----------------------------|---|--|----------------------------|--------------------------------------|
| SUAVE | 0.00 - 0.10 | 0. - 150 | — | — |
| MODERADO | 0.10 - 0.20 | 150 - 1500 | Tipo II IS (MS) IP (MS) | 0.50 |
| SEVERO | 0.20 - 2.00 | 1500 - 10,000 | Tipo V | 0.45 |
| MUY SEVERO | más de 2.00 | más de 10,000 | Tipo V + puzolana | 0.45 |

* Tomado del ACI 201 "Durabilidad del concreto", IMCYC, 1988, Pag. 33.

Los cementos puzolánicos y siderúrgicos tienen buen comportamiento frente a la acción de los sulfatos. Estos cementos dificultan la formación de sulfoaluminatos de calcio, debido a que liberan poco hidróxido de calcio durante la hidratación del concreto, una proporción del 15% al 25% en peso de cemento es adecuada para proteger al concreto de la acción de los sulfatos.

Las puzolanas al mezclarse con la caliza que resulta de la hidratación del cemento, inhiben en gran parte la formación de yeso, pero si las puzolanas contienen piritas, tobas y arcillas no se puede obtener un buen comportamiento del concreto frente al ataque de los sulfatos.

Las cenizas volantes pueden aumentar o disminuir la resistencia del concreto al ataque de los sulfatos, un alto contenido de óxido de calcio y aluminato de calcio en estado amorfo vuelve susceptible al concreto ante los sulfatos y por el contrario al bajar los contenidos el concreto incrementa notablemente la resistencia a los sulfatos.

La efectividad de la combinación de adiciones con otros tipos de cementos, depende de la composición química del cemento y la adición, y la proporción en que se mezclen.

b) ATAQUE POR ÁCIDOS.

El ataque de los ácidos comienza con la dilución de la capa de carbonatos en la superficie del concreto, esta capa protege al concreto de la carbonatación y al ser diluida por la acción de la lixiviación, forma con el hidróxido de calcio $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ del concreto sales solubles en agua, que posteriormente son arrastradas por el agua, aumentando la concentración y renovando el ataque.

Los ácidos más agresivos son: el Sulfúrico y el Sulfuroso, debido a que causan expansión en el concreto. El ácido sulfúrico (H_2SO_4) ataca al concreto con mayor rapidez que el ácido clorhídrico (HCl) o el ácido nítrico (HNO_3). El daño más lento es producido por los ácidos oxálico ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$), fosfórico (H_3PO_4) y el Hidrofluosilico (H_2SiF_6).

El ácido sulfúrico puede ser producido por la acción de bacterias anerobias o por gases producto de la combustión de carburantes que al combinarse con el agua forman el ácido.

El Ácido carbónico (H_2CO_3) tiene presencia en algunas aguas de origen natural y su contenido en aguas subterráneas ácidas oscila entre 15 a 40 Mg/Lt de CO_2 , la disolución en agua apenas alcanza el 1% lo demás esta en forma de CO_2 gaseoso disuelto. El ácido carbónico se encuentra en formas combinadas, semicombinadas y CO_2 disuelto. El CO_2 también aparece como ácido disuelto en la cal del cemento. El ácido carbónico es débil y el

agua que lo contiene disuelve el hidróxido de calcio en la pasta de cemento endurecido, además solo puede formar sales con la cal y nunca con la alumina.

El agua dura también es agresiva al concreto, pero su acción es diferente por el contenido de ácido carbónico, un agua que contiene 20 Mg/Lt de CO_2 agresivo no es dañina para un concreto denso, siempre que no hallan sulfatos en el agua. El ácido carbónico que se encuentra en el agua solo es agresivo si la concentración de iones de hidrogeno tiene un pH menor de 7.

Las aguas procedentes de minas, aguas negras e industrias pueden tener o formar ácidos que ataquen al concreto. Los ácidos que comúnmente contiene estas aguas son ácidos sulfúrico, sulfuroso, nítrico, fosfórico, sulfhídrico, fluorhídrico, carbónico, bromico y clorhídrico.

Cuando hay presencia de turbas en los suelos puede haber sulfuro de hierro, que al oxidarse produce ácido sulfúrico, luego una reacción posterior produce sales sulfatadas, que a su vez provocan ataque por sulfatos.

Cuando el agua posee bicarbonato ferroso $[\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2]$ se produce una reacción con el oxígeno atmosférico y en la superficie freática aparece ácido carbónico, de esta reacción se forma hidróxido ferroso, que es de consistencia gelatinosa y actúa como impermeabilizante rellenando los poros del concreto.

También los ácidos de origen orgánico pueden ocasionar daños al concreto,. El ácido acético es catalogado como fuerte y su producción depende de los procesos naturales donde la descomposición anaerobia de la materia orgánica, la destilación y la oxidación de alcoholes juegan un papel muy importante, estos ácidos es común encontrarlos en sitios de almacenamiento de alimentos ricos en almidón, silos agrícolas, destilerías, productos de

pulpa y madera. El ácido acético presenta mayor cantidad de sales solubles en aguas y por eso reacciona continuamente con el cemento hidratado.

El ácido sulfúrico en muchos casos se disocia completamente y su reacción con el cemento hidratado es menos agresiva, otros ácidos orgánicos agresivos al concreto son:

Butírico, Tánico, Fórmico y Láctico.

El mecanismo de los ácidos consiste en atacar el hidróxido de calcio del cemento hidratado y si hay en el concreto agregados calizos o dolomíticos también son afectados. La reacción química esta formada por compuestos de calcio solubles en agua, los ácidos oxalico y fosfórico al reaccionar forman sales de calcio insolubles en agua que se adhieren fuertemente al concreto, otro ácido poco soluble en agua es el ácido humico, que durante la reacción de intercambio con el hidrogeno y los compuestos calizos del concreto, forman un precipitado de calcio que sella los poros, luego estos depósitos son arrastrados por el agua, aumentando la concentración del ácido y repitiendo la acción agresiva.

No existe un procedimiento exacto para evaluar el ataque de los ácidos y las pruebas que se llevan a cabo tratan de simular de forma más real y posible la acción de los ácidos sobre el concreto.

Siempre debe tenerse en cuenta el valor de pH, la Dureza y la presencia de CO₂ en el agua para evitar daños al concreto. La forma más sencilla de proteger al concreto de los ataques de ácidos es usar concretos con baja relación agua-cemento, aunque ningún concreto hecho a base de cemento portland puede resistir por largo tiempo el ataque provocado por el agua con alta concentración de ácidos.⁹

Existen algunas medidas que ayudan a disminuir el ataque de los ácidos en la superficie del concreto, el uso de gas tetrafluoruro de silicio mejora el comportamiento frente a los ácidos, también se pueden aplicar cristales de silicato de calcio que sellan los poros. Los

⁹ ACI (201) "DURABILIDAD DEL CONCRETO", IMCYC, Mexico, 4ta. reimpression, 1988, pag. 35.

fluosilicatos de magnesio no solo sellan los poros, si no que también aumentan la resistencia a los ácidos al formar geles silifluoricas coloidales.

c) ATAQUE POR CORROSIÓN.

La protección que el concreto suministra al acero depende esencialmente de las características y propiedades intrínsecas del concreto. Un concreto de buena calidad y denso proporciona una baja permeabilidad, aumentando la resistencia a los fluidos que penetran en los poros del concreto y causan corrosión electroquímica en el acero de refuerzo.

La corrosión del acero (comúnmente en tecnología del concreto se llama corrosión al ataque del concreto, siendo completamente diferente a la oxidación o corrosión del acero) ha recibido gran atención en los últimos años, inicialmente se creía que este fenómeno solo ocurría en estructuras marinas y plantas químicas, luego se observó estructuras en otros ambientes con síntomas de corrosión. Los investigadores coinciden que uno de los principales causantes de corrosión en el acero embebido dentro del concreto es el ion **cloruro**, este puede encontrarse en el medio que rodea la estructura, en la mezcla de los ingredientes del concreto o puede ser intencionalmente adicionado al concreto como un acelerante. Pero también la corrosión ocurre en ausencia del ion cloruro, la carbonatación reduce la alcalinidad del concreto hasta niveles ácidos que causan corrosión en el acero de refuerzo y aunque este fenómeno ocasiona un proceso de corrosión más lento que la producida por cloruros, los daños causados son muy severos.

La corrosión se puede definir como: La interacción destructiva de un material por reacción química o electroquímica con el medio ambiente.

Los procesos principales que se dan en la corrosión del acero de refuerzo son: la oxidación y la corrosión propiamente dicha. La oxidación es una reacción gas-metal, que forma una

película de óxido sobre el acero esta forma de corrosión es muy lenta y el deterioro que provoca en la superficie metálica es mínimo, salvo que halla gases extremadamente agresivos. La oxidación ocurre principalmente en procesos siderúrgicos, donde el acero sale de los hornos con temperaturas alrededor de 900 °C y experimenta una fuerte reacción de oxidación al entrar en contacto con el aire del ambiente, la película que se forma es compacta, uniforme y hasta sirve de protección relativa contra la corrosión electroquímica. No siendo este un proceso principal de corrosión en las estructuras convencionales.

Cuando se habla de corrosión se hace referencia principalmente al ataque electroquímico en el acero de refuerzo en el concreto, esto ocurre cuando se forma una película de electrolitos sobre la superficie del acero, que es causada por la presencia de humedad. Este fenómeno es común observarlo en el acero de las armaduras almacenadas antes de su empleo. El mecanismo de la corrosión es electroquímico y de naturaleza compleja, la reacción ocurre en ambientes húmedos o en presencia de agua, con una humedad relativa mayor o igual al 60%, la reacción de corrosión conduce a la formación de óxidos e hidróxidos de hierro, estos son productos rojizos, pulverulentos y porosos denominados herrumbre u orín y solo aparecen cuando están presentes las siguientes condiciones:

- i) Presencia de Electrolitos.**
- ii) Diferencias de Potencial.**
- iii) Presencia de Oxígeno**
- iv) Existencia de Elementos Corrosivos.**

i) PRESENCIA DE ELECTROLITOS.

Cuando el concreto contiene metales pueden darse diferencias de potencial eléctrico, debido al contenido de humedad, oxígeno y electrolitos en estos casos a lo largo de la

varilla de refuerzo se crea una pila o celda de corrosión (Ver figura 2.1) donde hay un ánodo y un cátodo (con una separación de 6 mm a 10 mm o mas) y cualquier diferencia de potencial provoca la aparición de corriente eléctrica. Dependiendo de la intensidad de la corriente, y el acceso del oxígeno podrá haber o no corrosión. Dependiendo de la intensidad de la corriente y el acceso del oxígeno podrá o no haber corrosión.

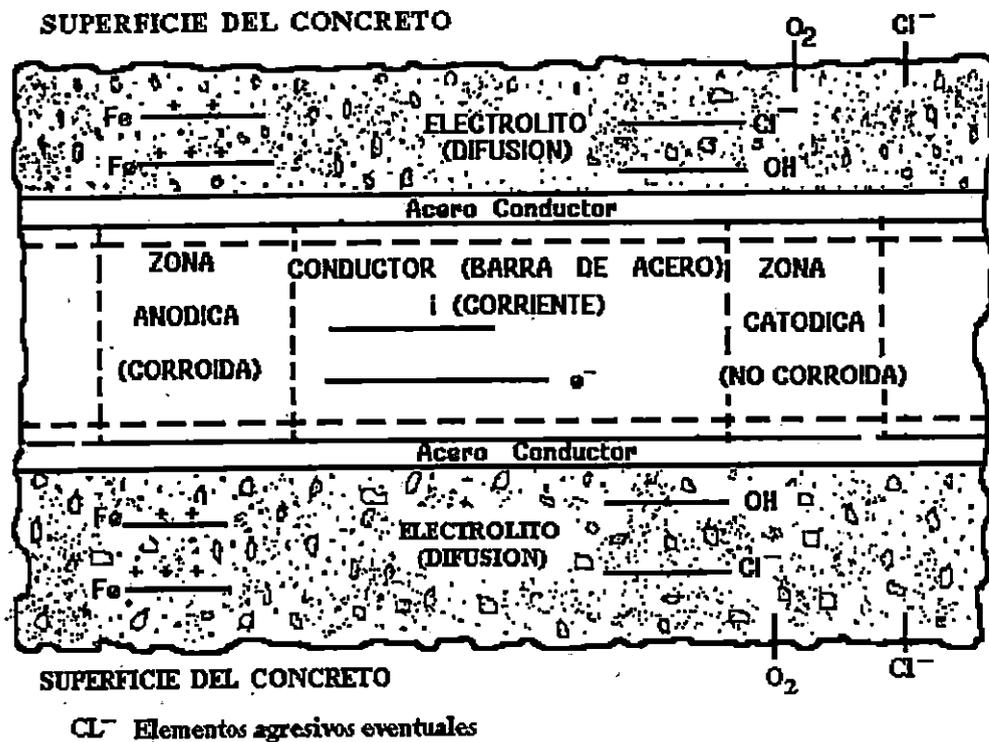


Figura 2.1 Pila de Corrosión en el Concreto Reforzado

Para que se forme una celda de corrosión es necesario la presencia de un electrolito, la cual es una solución capaz de conducir una corriente eléctrica por medio de un flujo de iones.¹⁰ Generalmente el agua presente en el concreto se encuentra en cantidades suficientes para

¹⁰

ACI (201) "DURABILIDAD DEL CONCRETO", IMCYC, MEXICO, 4ta Reimpresión, 1988, Pag. 49.

actuar como un electrolito, otros productos de hidratación como el hidróxido de calcio $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ que es soluble en agua también constituye un buen electrolito.

Una pila de corrosión comienza a funcionar por la acción simultánea de los electrolitos, el oxígeno y un punto del acero sometido a tensión mecánica intensa, convirtiéndose en un ánodo por ruptura de la película de óxido, mientras el punto que conserva restos de óxido se convierte en un polo positivo o cátodo, a partir del hierro tomado del ánodo se forma la herrumbre u óxido dejando una cavidad en el acero que ocasiona pérdida de sección, aspecto perjudicial para elementos presforzados o para el acero embebido en el concreto.

ii) DIFERENCIA DE POTENCIAL.

Cuando el acero de refuerzo embebido en el concreto entra en contacto con el agua u otro fluido que penetre al concreto, los átomos de hierro tienden a pasar a la solución y se transforman en cationes (Fe^{++}) con carga eléctrica positiva y dejando al acero con carga negativa, esta situación se conoce como potencial de equilibrio y no genera ninguna fuerza electromotriz, pero al haber reactivos capaces de combinarse con electrones, se origina una reacción capaz de formar una pila o célula de corrosión electroquímica.

Diferencias de humedad, aereación, concentración salina y tensión en el acero pueden causar una diferencia de potencial que a su vez genere pilas o cadenas de pilas de corrosión conectadas en serie que causen una corrosión generalizada.

iii) PRESENCIA DE OXIGENO.

El oxígeno es uno de los componentes que pueden aumentar, reducir o evitar la corrosión del acero de refuerzo ahogado en el concreto. La penetración de oxígeno en el

concreto depende principalmente del espesor y la relación agua-cemento. La figura 2.2 muestra la penetración del oxígeno en el concreto.

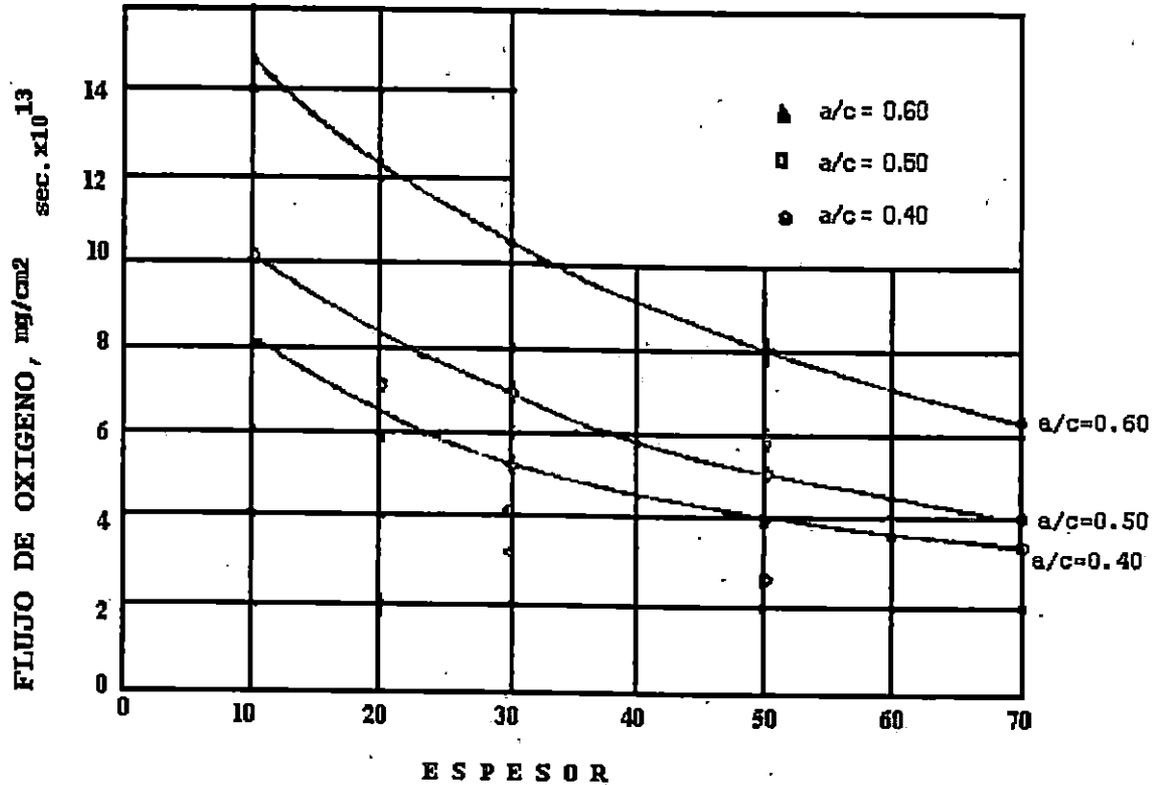


Figura 2.2 Efecto de la Relación Agua-Cemento y el Espesor en la Difusión del Oxígeno Através del concreto.*

*Tomado de ACI 222, "Corrosión of Metals in Concrete", ACI, USA. 1989, Pag. 223R-3

Una medida contra la penetración del oxígeno al concreto es la impregnación profunda con polímeros a los concretos atacados por cloruros.

Los Óxidos e Hidróxidos de Hierro solo pueden formarse en presencia de Oxígeno, al combinarse con los electrolitos del agua y el Hidróxido de Calcio forman herrumbre u Orín. ($4\text{Fe} + 3\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_3$), aunque la corrosión forma reacciones complejas que no siempre son $4\text{Fe}(\text{OH})_3$ no se encuentra práctico discutirlas debido a lo extenso del tema.

i) EXISTENCIA DE ELEMENTOS CORROSIVOS.

Siempre que el concreto este expuesto a ser mojado por soluciones que contengan sales, sulfatos o clóruos la corrosión puede incrementarse, entre los elementos agresivos que aumentan la velocidad de corrosión en el acero de refuerzo tenemos: Iones de Sulfuro (S^{-}), Cloruros (Cl^{-}), Bióxido de Carbono (CO_2), los nitritos (NO_3^{-}), Sulfhídrico (SH_2), Amoniaco (NH_4), Óxidos de Azufre (SO_2 , SO_3) y el Hollín.

Cuando el Concreto no es apropiado o su recubrimiento es insuficiente, la formación de óxidos e Hidróxidos de Hierro se vuelve constante, alcanzando volúmenes hasta 10 veces mayores al volumen original del acero de refuerzo, esto ocasiona presiones de expansión de aproximadamente de unos 150 Kg./cm^2 , tal efecto provoca agrietamiento en el concreto en dirección paralela a la del acero de refuerzo corroído, favoreciendo la carbonatación, la penetración del CO_2 y otros agentes agresivos. Las grietas perpendiculares al acero de refuerzo no causan corrosión seria, salvo ciertos casos de exposición severa.

En la Figura 2.3 se muestra esquemáticamente las fases de la corrosión en las armaduras.

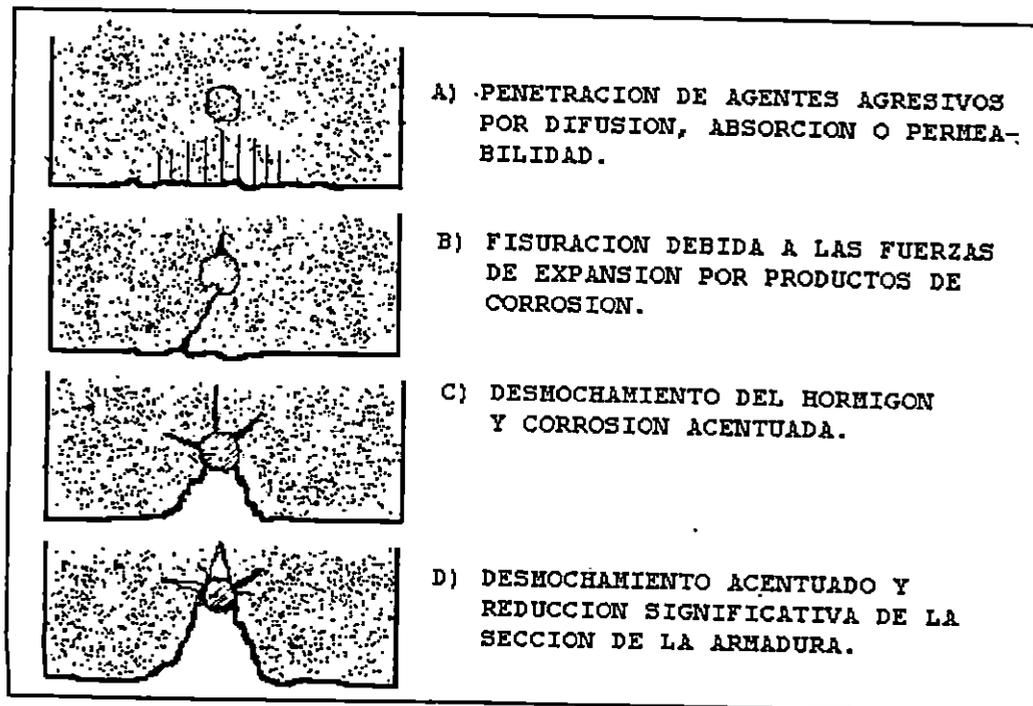


Fig. 2.3 Deterioro Progresivo de las armaduras debido a la corrosión.

Los síntomas de corrosión aparecen como un manchón castaño-rojizo (ver fotos 1 y 2 en la siguiente pagina), el proceso es claramente visible y siendo soluble se esparce manchando la superficie del concreto. Los elementos estructurales donde la corrosión se observa con mayor rapidez son las columnas y vigas, debido a las sollicitudes de tracción y compresión a que se someten. Las aristas son otros puntos donde la corrosión se advierten rapidamente.

MECANISMOS DE PROTECCION.

- **Dosificacion de Mezclas.** La permeabilidad en el concreto es un factor muy importante para el ataque químico del concreto y los elementos ahogados en el. Un concreto poco permeable permite menos circulación de fluidos y tiene una conductividad de corriente menor que disminuye el riesgo de corrosión. Para obtener un concreto con las prestaciones antes descritas se necesita usar bajas relaciones de agua-cemento. Pruebas experimentales han demostrado que elementos de concreto sometidos a la acción del agua marina, con recubrimientos de 4 cm y relaciones de Agua-cemento de 0.45 dan una buena proteccion al acero de refuerzo contra la corrosión, relaciones de 0.53 proporcionan proteccion mediana y relaciones de 0.62 ofrecen proteccion deficiente. Debe tenerse en cuenta que sí el agua a usar tiene sales o cloruros no es conveniente dosificar con relaciones agua/cemento menores a 0.40, aunque un concreto diseñado con bajas relaciones de agua/cemento no necesariamente asegura el resguardo el acero ante la corrosión, los concretos "sin finos" pueden tener bajas relaciones de agua/cemento y ser altamente permeables. En sintesis es necesario utilizar agregados gruesos y finos bien graduados con una relación agua/cemento adecuada para obtener concretos impermeables.

- **Recubrimiento del Acero.** La protección que el concreto brinda al acero puede ser física y química. La proteccion fisica se refiere a un buen recubrimiento del concreto, con el cual se garantice la impermeabilidad ante los agentes agresivos externos, según el ACI 201



Fotografía No. 1 Corrosión en una Columna del Puerto de la Libertad, se aprecia un color rojizo y la presencia de grietas causadas por la exposición severa de la estructura.



Fotografía No. 2 Corrosión acentuada en una sección del Puerto de la Libertad, puede verse como el recubrimiento ha dejado desprotegido el acero de refuerzo y este es atacado por sustancias salinas agresivas.



Photograph of the building at the site of the investigation. The building is a large, multi-story structure with a complex facade. The photograph is oriented vertically on the page.



Photograph of the building at the site of the investigation. The building is a large, multi-story structure with a complex facade. The photograph is oriented horizontally on the page.

(Durabilidad del concreto) en las orillas del mar, en sus cercanías o en cualquier otro lugar que exista indicio de agentes agresivos, se requiere una capa de concreto no menor de 7.5 cm, la AASHTO sugiere para estructuras marinas un espesor de 10 cms, en zonas que no presenten problemas para el concreto se puede usar espesores hasta de 5 cm.

La protección Química que brinda el concreto al acero consiste en mantener la alcalinidad proveniente de la hidratación de silicatos de calcio (C_3S y C_2S) que liberan $Ca(OH)_2$. El cual se disuelve en agua y rellena los poros capilares del concreto, dándole al concreto un carácter alcalino con un pH aproximadamente de 12 a 13 que proporciona protección al acero por pasivación.

- **Limitación del Uso de Cloruros en las Mezclas de Concreto.** Siempre que el concreto este expuesto a la acción de sales solubles, es recomendable evitar la presencia de cloruros, ya sea como aditivos o contenidos en los agregados minerales, esto también elimina la posibilidad de usar agua de mar como agua de mezclado para el concreto. Como los cloruros son muy abundantes en la naturaleza, es imposible evitar su uso, pero si es posible limitar su contenido en las mezclas de concreto a niveles que no ocasionen corrosión en el acero de refuerzo del concreto.

Según estudios el valor mínimo de cloruros que pueden causar corrosión en el acero de refuerzo es de 0.15% del peso en cemento, pero este valor no toma en cuenta condiciones de humedad y presencia de oxígeno, dos parámetros determinantes para la corrosión del acero de refuerzo y que en muchos casos según las condiciones de exposición la corrosión puede ocurrir muy por debajo del valor antes descrito.

El comité ACI 201 (Durabilidad del Concreto) propone límites del Ion Cloruro para concreto reforzado que estara expuesto al ataque de sales.

1- Concreto Reforzado----- 0.06%

- 2- Concreto Reforzado Convencional en Ambiente Humedo y Expuesto
 a la acción de cloruros----- 0.10%
- 3- Concreto Reforzado Convencional en Ambiente Húmedo pero No
 Expuesto a Cloruros ----- 0.15%
- 4- Estructuras en las que el Concreto Permanecera Seco -----No Hay Límite

Además de los mecanismos de protección contra la corrosión citados anteriormente, también hay que tomar en cuenta los procedimientos constructivos, el curado del concreto y un sistema adecuado de drenaje que evite si es posible la formación de depósitos de agua alrededor de la estructura.

d) ATAQUE POR CARBONATACION.

Cuando el cemento portland se hidrata, libera Hidróxido de Calcio, este compuesto proporciona una elevada alcalinidad (pH entre 12 y 13) que protege del ataque químico de la corrosión al acero de refuerzo. El exceso de hidróxido de calcio que se genera producto de la hidratación, se acumula en los poros capilares del concreto y se libera cuando la alcalinidad del concreto disminuye.

La Carbonatación es la pérdida de pH y ocurre cuando el Dióxido de Carbono o Anhídrido Carbónico (CO_2) presente en los gases atmosféricos reacciona con el Hidróxido de Calcio, produciendo Carbonato de Calcio y Agua. El Carbonato de Calcio es soluble en agua y puede ser arrastrado por lixiviación, haciendo perder las propiedades físicas al concreto y neutralizando el pH de este (pH menor a 9.5), esto da lugar a la depasivación del acero de refuerzo y facilita el proceso de corrosión.

La carbonatación es un inconveniente que afecta la durabilidad de las estructuras de concreto, uno de los problemas que causa es la retracción por carbonatación, que consiste

en la disolución de cristales de Hidróxido de calcio, mientras el material esta sometido a esfuerzos de compresión y a la formación y acumulación de carbonato de calcio (CaCO_3) en los poros del Concreto.

Según las fuentes de procedencia del Dióxido de Carbono, existen dos tipos de Carbonatación:

- a) Carbonatación Atmosférica
- b) Carbonatación por Agua Freática.

a) CARBONATACION ATMOSFÉRICA.

Ocurre cuando reacciona el cemento Portland Hidratado con el CO_2 de la Atmósfera, este es un proceso lento y depende en gran medida de la Humedad relativa en el medio ambiente, de la temperatura y la concentración de CO_2 . Se ha determinado que la Humedad relativa óptima para que ocurra carbonatación es de un 25% a un 75%, cuando la humedad es menor al 25% la carbonatación es mínima y cuando la humedad relativa es mayor a 75% el exceso de agua dificulta el acceso de CO_2 .

b) CARBONATACIÓN POR AGUA FREÁTICA.

La lluvia absorbe el CO_2 y forma ácido Carbónico, que penetra en el suelo y reacciona con los Carbonatos presentes en éste, produciendo un equilibrio con el Bicarbonato de Calcio, creando una solución por pH neutro y alto contenido de CO_2 , que al entrar en contacto con el concreto causa un ataque similar al de la Carbonatación Atmosférica.

El ataque de la Carbonatación depende de la cantidad de CO_2 en el medio de la estructura, la humedad relativa, cantidad y tipo de cemento, relación agua-cemento y tamaño de los poros capilares del concreto.

Una forma para detectar la Carbonatación es rompiendo un pedazo de concreto y después de retirar los residuos de polvo, se rocía con una solución de fenolftaleína al 1% o 2% en alcohol sobre el concreto. Las áreas Carbonatadas (pH menos de 8) no cambian de color, mientras que las partes con pH mayor a 9.5 se vuelven color rojo púrpura brillante, determinando así hasta donde ha llegado la carbonatación.

Para detener la Carbonatación, lo mejor es usar concreto de baja permeabilidad, el uso de adiciones como Microsílica y Fly Ash se permite dependiendo de los porcentajes adicionados, debido a que altos porcentajes pueden favorecer el proceso de carbonatación. También puede usarse en la prevención de la carbonatación recubrimientos sintéticos que son especialmente diseñados para evitar que el CO_2 penetre en el concreto y si la Carbonatación ya ha alcanzado el acero de refuerzo, un recubrimiento "anticarbonatación" disminuirá el progreso de este ataque, aunque será incapaz de detenerlo.

2.4.2-2 ATAQUE FÍSICO AL CONCRETO.

Los Ataques Físicos sobre el concreto consisten en acciones Físicas y Mecánicas que no dañan la estructura química del concreto, pero afectan propiedades del concreto como la permeabilidad, la resistencia a la compresión, a la abrasión y a la tensión. Generalmente estas acciones tienen su origen en sismos, sobrecargas, tráfico peatonal y vehicular, explosiones, inundaciones e imprevistos. Estos efectos provocan la acumulación de energía cinética y como consecuencia ocurren agrietamientos, descascaramientos y la consecuente degradación por la penetración de agentes químicos agresores.

El ataque físico consiste principalmente en la acción física del congelamiento y deshielo, y la acción mecánica de la abrasión.

e) ATAQUE FÍSICO POR ABRASIÓN.

La abrasión es la acción o efecto de desgastar por medio de fricción, en todo caso el concreto debe ser capaz de resistir la acción de cuerpos sólidos o líquidos que se friccionen contra su superficie al desplazarse. La resistencia de pisos, pavimentos y obras hidráulicas a la abrasión depende del tipo de superficie y del peso del cuerpo agresor sobre el concreto. Los cuerpos sólidos actúan de forma directa sobre la superficie en contacto, causando desgaste en forma de fisuras o baches que dejan expuestos los agregados del concreto, generalmente los desgastes son ocasionados por la acción de vehículos, peatones y manejo de cargas. Los cuerpos líquidos actúan por rozamiento o impacto causado por fluidos en movimiento y cuerpos sólidos en suspensión, desgastando la superficie con el tiempo y ocasionando la degradación del concreto, aunque se ha determinado que los fluidos no predominan de manera significativa en el ataque por abrasión al concreto.

La resistencia a la abrasión depende de la resistencia mecánica del concreto, que a su vez depende principalmente de la calidad de los agregados, la relación agua-cemento y las condiciones de curado del concreto. Al aumentar la relación agua-cemento se facilita la posibilidad de exudación y el potencial de abrasión aumenta debido a que se forma una capa débil y quebradiza en la superficie del concreto, que al entrar en contacto con cuerpos en movimiento por efectos de fricción es fácilmente removida.

La calidad de los agregados es muy importante, la dureza y resistencia de estos ayuda al concreto a comportarse mejor frente a la abrasión. Una correcta granulometría de los agregados proporciona una mezcla homogénea y se disminuye la posibilidad de segregación, sangrado y la fisuración por retracción de secado, minimizándose consecuentemente la posibilidad de abrasión en el concreto endurecido.

El tipo de curado influye en el futuro comportamiento del concreto, un concreto bien curado obtendrá una mayor resistencia y una capa superficial menos débil, otros factores que deben tomarse en cuenta cuando se diseñen concretos resistentes a la abrasión son la forma de compactación y el acabado superficial del concreto.

Según el comité ACI 201 (Durabilidad del Concreto) los tipos de Abrasión que existen son:

- 1.- Frotamiento causado por peatones y vehículos ligeros, incluye patinazos y deslizamiento sobre la superficie del concreto.
- 2.- Rozamiento, Raspado y Percusión, Desgaste causado en carpetas asfálticas por tráfico pesado en neumáticos de tachones o cadenas.
- 3.- Erosión de estructuras hidráulicas, debido principalmente a la acción de materiales abrasivos que se conducen en el agua.
- 4.- Erosión por Cavitación, ocurre principalmente en elementos hidráulicos que transportan líquidos a altas velocidades y presiones negativas.

Una forma de prevenir la abrasión del concreto, es usando tratamientos líquidos, como el fluosilicato de magnesio, que reduce el desprendimiento de polvos del concreto y resiste en menor grado el ataque químico de aceites.

2.4.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL ATAQUE QUÍMICO AL CONCRETO.

La agresividad a que puede estar sometido el concreto no solo depende de la concentración de elementos químicos y las características intrínsecas del concreto, también depende de factores físicos e incluso biológicos, que influyen en el ataque químico al concreto, ocasionando una interacción físico-química que hace difícil su cuantificación e identificación.

Entre los principales factores que influyen en el ataque químico al concreto están:

- A) Velocidad del agua en contacto con el concreto.
- B) Temperatura del medio ambiente.
- C) Capilaridad del concreto.
- D) Dimensiones y edad del concreto.
- E) Acción de tiobacterias.

A) VELOCIDAD DEL AGUA EN CONTACTO CON EL CONCRETO.

Cuando el agua se encuentra en movimiento su acción es mucho más agresiva, ya sea golpeando en forma de ola o produciendo fricción por la velocidad, ambos efectos ocasionan descascaramiento en el concreto y vulneran de forma física su resistencia a los químicos. Cuando el agua esta en reposo forma una capa en el concreto que lo protege, pero al ponerse en movimiento es diluida logrando renovar el ataque causando un efecto llamado corrosión por lixiviación que generalmente ocurre en concretos porosos y consiste en la pérdida de los componentes de la pasta por la acción de aguas a altas velocidades.

Cuando el agua circula por la superficie del concreto a altas velocidades, esta ejerce presión que obliga al agua a penetrar en los poros del concreto y al interactuar con los componentes del concreto se originan reacciones químicas que disminuyen las fuerzas de cohesión y la resistencia misma del concreto, este fenómeno se ve acelerado cuando el agua contiene carbonatos o ácidos que causan la desaparición del hidróxido de calcio.

Existen cuatro casos que ilustran la acción de la presión diferencial en el concreto.

- **CASO 1.** La presión es similar en ambas caras del elemento de concreto. En este caso el elemento esta saturado, pero no hay presión diferencial, lo que elimina el movimiento de agua y por consiguiente el ataque.

- **CASO 2.** Hay presión diferencial sobre la superficie del concreto, pero al no estar expuesto el elemento a la acción de la evaporación la concentración de sustancias agresivas es poca y no hay ataque al material.
- **CASO 3.** Hay una presión diferencial que ocasiona movimiento del agua en la superficie de contacto, dicha superficie esta expuesta a la intemperie, facilitando la evaporación y la concentración de sustancias nocivas que atacan al concreto.
- **CASO 4.** No hay presión diferencial, pero existe acción capilar que ocasiona movimiento del agua en la superficie de contacto expuesta a la intemperie, la evaporación causa concentración de sustancias agresivas que ocasionan ataques al concreto.

Aunque aun no se ha podido establecer una relación entre la velocidad del agua y la del ataque, algunas normas sugieren valores para cuando el concreto será expuesto a fluidos en movimiento, las normas rusas consideran que la velocidad del agua es aceptable, si posee una velocidad de 0.01 cm/seg. (8.6 mt/día) tanto para aguas subterráneas como superficiales, que corren por terrenos con gravas o arenas. De estos valores se puede deducir que en suelos arcillosos o cohesivos, la velocidad del agua no producirá ataques al concreto debido a que su velocidad es aproximadamente de 0.0001 cm/seg. (0.086 mt/día).

B) TEMPERATURA.

Un aumento en la temperatura del medio ambiente, acelera la velocidad de ataque y de reacción química en el concreto. Los suelos cohesivos poseen una temperatura más baja que los granulares, siendo menos susceptibles a causar daños al concreto por temperatura. El agua subterránea no sufre de incrementos de temperatura, salvo ciertos casos donde las características geológicas lo permiten, como las aguas termales, que por su poca viscosidad

y su poder de fluidez se mueven con más facilidad por el suelo y en los poros del concreto. Es poco probable que aguas termales afecten a una estructura de concreto, es más fácil que el daño sea causado por aguas de descarga industrial a alta temperatura.

C) CAPILARIDAD DEL CONCRETO.

Los vacíos capilares son espacios que inicialmente fueron ocupados por el agua que en el proceso de fraguado se evapora, formando una red de poros, que son el camino de entrada para los agentes degradantes del concreto. El tamaño de los poros varía desde unos pocos nanómetros (Microporos) a Micrómetros (Capilares) llegando a veces a tamaños de milímetros (Poros de aire atrapado), la densidad de los poros depende de la relación agua-cemento, en cuanto menor sea la relación la cohesión del concreto aumenta, disminuyendo la cantidad de poros y aumentando la impermeabilidad de este.

Algunos Factores que Influyen en la Capilaridad del Concreto son:

- 1- Cantidad, Forma y Granulometría de los Agregados, siendo menor la capilaridad cuando los agregados son cúbicos o esféricos.
- 2- Forma de Colocación, Compactación y curado del concreto, una adecuada compactación disminuye la cantidad de aire atrapado, reduciendo la cantidad de poros.
- 3- Relaciones entre los contenidos de los compuestos del cemento, un cemento con alto contenido de Aluminato Tricalcico (C_3A) presenta mayor capilaridad en el concreto, que al usar un cemento con abundante silicato tricalcico. (C_3S).

D) DIMENSIONES Y EDAD DEL ELEMENTO.

Mientras más delgada sea la sección de concreto, más susceptible será esta y el acero de refuerzo al ataque de los químicos. El recubrimiento juega un papel muy importante como

una barrera protectora del concreto y el acero, pero no necesariamente la protección depende del espesor del recubrimiento, también tiene que ver la calidad de la pasta de cemento que constituye el recubrimiento.

La edad del elemento puede relacionarse con la durabilidad, la capacidad del concreto para resistir ataques físicos y químicos. A medida que pasa el tiempo el comportamiento intrínseco del concreto aumenta debido a que los procesos de hidratación y resistencia también mejoran, limitando las posibilidades de reacción a los elementos integrantes del concreto. La protección del concreto debe considerarse como una parte inseparable de la solución del problema de la permanencia en el tiempo de las estructuras de concreto en ambiente agresivo.

E) ACCIÓN DE TILOBACTERIAS.

En los procesos de deterioro del concreto, también intervienen factores biológicos debido a la acción de microorganismos que acumulan azufre y que son conocidos como Tiobacterias, estas bacterias anaerobias consumen el azufre que se encuentra en el suelo y es oxidado a expensas del Ácido Sulfhídrico (H_2S) convirtiéndose en Ácido Sulfúrico (H_2SO_4), estas bacterias son conocidas como formadoras de sulfatos. Hay bacterias sulforreductoras que son anaerobias y reducen los sulfatos a sulfuros, esto es favorable para el concreto, ya que disminuye la agresividad del agua por la acción de los sulfatos, pero puede causar corrosión severa en el acero de refuerzo por el ácido liberado por las bacterias que resisten ambientes extremadamente ácidos sin problema alguno. Las bacterias Ferruginosas se desarrollan gracias a los productos resultantes de la meteorización de rocas Ferruginosas o Manganosas, estas bacterias producen ácido Carbónico que afecta gravemente al concreto.

2.5 CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO ESTRUCTURAL PARA EL USO DE CONCRETOS DE GRAN COMPORTAMIENTO EN ESTRUCTURAS.

Los Concretos de Gran Comportamiento tienen alta resistencia y por ello ofrecen muchas ventajas potenciales que pueden ser técnicas o económicas, sin embargo desde la perspectiva estructural son inherentemente más frágiles que los concretos de resistencia normal. Por lo tanto es necesario entender los mecanismos de falla en miembros estructurales, antes de apropiarse los criterios de diseño que pueden ser desarrollados para su análisis. Dado que falta el conocimiento necesario en el diseño de estructuras usando Concretos de Alta Resistencia, los reglamentos y normas de construcción han tomado una aproximación conservadora y el límite de la resistencia del concreto es usado para calcular la resistencia de miembros sometidos a modos de falla a tensión. Por ejemplo provisiones actuales del ACI para resistencia al corte son aplicables para concretos con resistencia menores de 700 Kg./cm^2 (10,000 PSI), para concretos de mayor resistencia las provisiones del reglamento requieren un incremento en el refuerzo por cortante mínimo, de otra manera recomienda no tratar con concretos de mayor resistencia. Limitaciones tal como esta dan lugar a barreras que no permiten el uso de estos concretos. También las normas para la aceptación de pruebas han sido desarrolladas y basadas en experiencias con el concreto de resistencia normal y esto puede generar problemas para evaluar las pruebas de concretos de alta resistencia por lo tanto estas normas necesitan ser puestas al día para extender su aplicación en estos concretos. Sin embargo actualmente se llevan a cabo investigaciones en el comportamiento estructural, pruebas estándar y prácticas de construcción, debido a la tendencia mundial de aplicar Concretos de Gran Comportamiento a obras especiales.

2.5.1 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO.

El uso del Concreto de Gran Comportamiento especialmente los de Alta Resistencia ha precedido la información completa de sus propiedades mecánicas que difieren significativamente de las propiedades mecánicas de concretos de resistencia normal. La comprensión del comportamiento del concreto bajo cargas y las ecuaciones empíricas que se utilizan actualmente para predecir propiedades básicas como el módulo de elasticidad, la resistencia a la tensión y otras, están basadas principalmente en pruebas de compresión uniaxial realizadas en cilindros de 15.2 cm x 30.5 cm de concretos con resistencias normales y menores de 410 kg./cm² (6000 psi). De este modo las ecuaciones empíricas de las propiedades mecánicas del concreto con resistencia normal son frecuentemente expresadas en términos de la resistencia a la compresión uniaxial, y la aplicación de estas no sería válida para concretos con resistencias más elevadas y por ello varias propiedades del Concreto de Alta Resistencia están siendo investigadas y se han propuesto sus propias expresiones para predecirlas.

2.5.1-1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL.

La tecnología del concreto ha propuesto ya los Concretos de Gran Comportamiento como un material constructivo que ofrece una mayor durabilidad y es un reto ahora investigar las propiedades mecánicas para tener un conocimiento más preciso de estas, y garantizar por medio del análisis y diseño estructural la seguridad de las obras de ingeniería civil.

La resistencia a la compresión ensayada en cilindros de concreto en laboratorios ha llegado hasta los 2800 Kg./cm², con una relación agua-cemento de 0.16 y en obras se ha llegado

hasta los 1400 Kg./cm²,¹¹ y por ello es necesario conocer las otras propiedades mecánicas en función de la alta resistencia a la compresión uniaxial del concreto, que es la característica más comúnmente investigada por resultar más económico.

La resistencia a la compresión uniaxial del Concreto de Gran Comportamiento puede ser medida con procedimientos de pruebas para concretos con resistencia normal (Método Estándar de Ensayo para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto ASTM C-39), con algunas modificaciones en la preparación de especímenes y en requisitos necesarios para el ensayo en la máquina de compresión.

2.5.1-2 RESISTENCIA A LA TENSIÓN UNIAXIAL.

Los estudios de la relación entre la resistencia a Tensión indirecta (Método Estándar de Ensayo para Resistencia a Tensión Indirecta del Concreto ASTM 496), y la resistencia a la compresión de los concretos con alta resistencia han conducido a determinar que la resistencia a la tensión indirecta puede reducirse hasta un cinco por ciento de la resistencia a la compresión, pero sin embargo se ha deducido la siguiente ecuación para su predicción¹²:

$$f'_{sp} = 0.59\sqrt{f'_c} \quad \text{MPa para } 21 \text{ MPa} < f'_c < 83 \text{ MPa}$$

$$f'_{sp} = 7.4\sqrt{f'_c} \quad \text{PSI para } 3000 \text{ PSI} < f'_c < 12,000 \text{ PSI}$$

2.5.1-3 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (MODULO DE RUPTURA).

Mediante pruebas de resistencia a la flexión (Módulo de Ruptura Método Estándar de Ensayo para Resistencia a la Flexión del Concreto ASTM C 78) en viguetas de (10.2 x 10.2 x 35.6) cm. apoyados en tres puntos y para concretos de alta resistencia con agregado de

¹¹ "Áridos para Hormigones de Alta Resistencias. Sus características", Eduardo Herrero N. Revista "Cemento-Hormigon", Agosto 1992, No. 709, Pag. No. 1140.

¹² State of the Art Report on High Strength Concrete, reported by ACI Commite 363 en ACI manual of Concrete Practice Part 1 - 1995 pag. 23 y 25.

peso normal y o ligero se han encontrado módulos de ruptura que caen en el rango de $7.5\sqrt{f_c}$ a $12\sqrt{f_c}$ (valores en PSI), sin embargo la siguiente ecuación es recomendada para la predicción de resistencia a la tensión directa, medida por medio del módulo de ruptura y relacionada con la resistencia a compresión¹³:

$$f_r = 0.94\sqrt{f_c} \text{ MPa para } 21 \text{ MPa} < f_c < 83 \text{ MPa.}$$

$$f_r = 11.7\sqrt{f_c} \text{ PSI para } 3000 \text{ PSI} < f_c < 12000 \text{ PSI}$$

2.5.1-4 COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACIÓN EN COMPRESIÓN UNIAXIAL .

El diagrama Esfuerzo-Deformación del Concreto de Alta Resistencia se estudia por medio de cilindros sometidos a compresión uniaxial cargándolos a una velocidad constante para medir las deformaciones axiales y laterales producidas.

Las características del diagrama Esfuerzo-Deformación de los Concretos de Alta Resistencia, están influidas por el nivel de resistencia a compresión alcanzado como se muestra en la figura 2.4, y se definen de forma distinta con respecto a los concretos de baja resistencia como sigue:

- La rama ascendente de la curva presenta un tramo de proporcionalidad lineal mayor y una pendiente más pronunciada.
- La deformación correspondiente al punto de fluencia disminuye a medida aumenta la resistencia.
- La deformación correspondiente al máximo nivel de esfuerzo a compresión alcanzado es ligeramente mayor para Concretos de Alta Resistencia, y puede ocurrir en un rango de deformaciones de 0.002 a 0.003.

¹³ State of the Art Report on High Strength Concrete, reported by ACI Commite 363 en ACI manual of Concrete Practice Part 1 - 1995 pag. 23 y 25.

- La rama descendente presenta igualmente, pendiente más pronunciada, con una caída más rápida cuando se ha alcanzado el máximo esfuerzo.
- La deformación máxima ó deformación límite de falla a compresión puede estar cercana a la deformación correspondiente al esfuerzo máximo, debido a la caída repentina de la rama descendente.

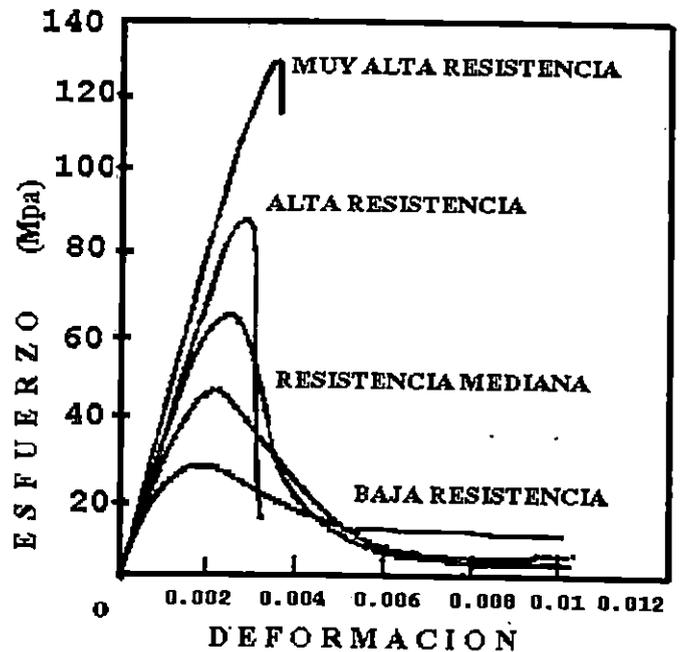


fig. 24 Diagrama Esfuerzo-Deformación para Concretos de Alta Resistencia para Concretos de Resistencia Normal (1 MPa= 10.2 Kg./cm²)¹⁴

Estas características del diagrama Esfuerzo-Deformación nos dan una idea del comportamiento mecánico de los Concretos de Alta Resistencia y pueden ser de gran utilidad para fijar los criterios de un diseño seguro de las estructuras construidas con este tipo de concreto.

14

" Full - Range Behavior of High - Strength Concrete Flexural Members: Comparison of Ductility parameters of High and Normal Strength Concrete Members." R. Pendyala, P. Mendis, ACI estructural Journal V. 93 January-February 1996.

2.5.1-5 MÓDULO DE ELASTICIDAD.

La relación Esfuerzo-Deformación y el Módulo de Elasticidad del concreto son datos importantes de diseño. La determinación del módulo de elasticidad (Módulo de Elasticidad Estático y Relación de Poisson de Concreto en Compresión ASTM C 469) provee uno de los valores más usados para propósitos de diseño, como para determinar la deformación y distribución de esfuerzos entre el concreto y acero de refuerzo o miembros de concreto presforzado.

El valor del módulo de elasticidad para concretos de peso normal y baja resistencia según el ACI 318 89 y 95 sección 8.5 puede tomarse como :

$$E_c = Wc^{1.5}(0.14)\sqrt{f'_c} \quad \text{Kg./cm}^2$$

$$E_c = Wc^{1.5}(33)\sqrt{f'_c} \quad \text{PSI}$$

Al usarse esta ecuación en concreto con resistencias mayores de 410kg/cm²(6000 PSI), se sobrestiman los módulos de elasticidad porque se ha demostrado experimentalmente que se obtienen valores mucho más elevados que los módulos obtenidos de gráficas Esfuerzo-Deformación en compresión uniaxial como se muestra en la figura 2.5. Por lo tanto el ACI 363 ha propuesto otra ecuación que define una mejor correlación entre el módulo de elasticidad y la resistencia a la compresión de concretos con agregados de peso normal:

$$E_c = 3320\sqrt{f'_c} + 6900 \quad \text{MPa} \quad \text{para } 21 \text{ MPa} < f'_c < 83 \text{ Mpa}$$

$$E_c = 40,000\sqrt{f'_c} + 1.0 \times 10^6 \quad \text{PSI} \quad \text{para } 3000 \text{ PSI} < f'_c < 12,000 \text{ PSI}$$

Esta ecuación permite predecir el módulo de elasticidad con más precisión que la anterior y puede ser utilizada para propósitos de cálculo como por ejemplo, cuando este se impone como una condición de diseño para reducir los movimientos horizontales y aumentar la

rigidez de los edificios y mantener reducidas las flechas producidas por las cargas en las vigas pero evitando que las estructuras sean completamente frágiles.

Con respecto a los pesos unitarios de Concretos se Alta Resistencia (wc), estos son ligeramente mayores (menos del 10%) con respecto a los concretos de baja resistencia.

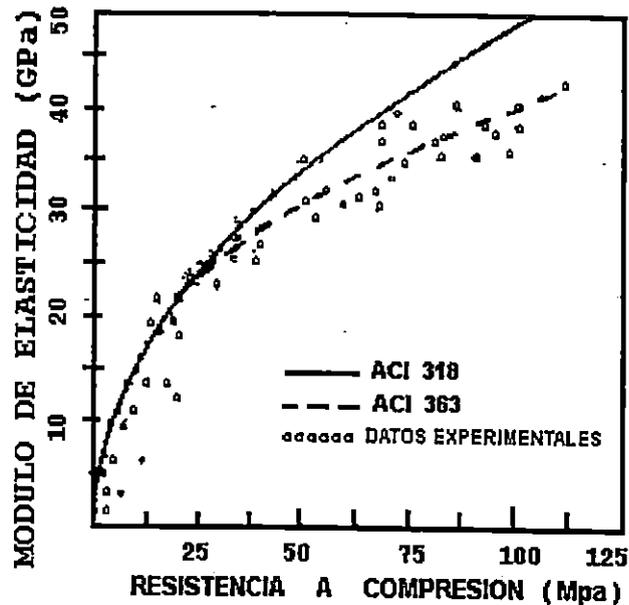


Fig. 2.5 Comparación de valores de módulos de elasticidad determinada teóricamente y experimentalmente, $(1 \text{ MPa} = 10.2 \text{ Kg/cm}^2)^{15}$

2.5.1-6 RELACIÓN DE POISSON.

El Concreto de Alta Resistencia presenta menos microagrietamiento interno que el concreto de baja resistencia para una deformación axial impuesta. Como resultado, el incremento relativo de deformación lateral es menor para concretos de alta resistencia, por lo tanto estos son menos sensitivos al cambio volumétrico.

Estudios realizados en Concretos de Alta Resistencia sobre la relación de Poisson han llegado a establecer, valores de 0.20 a 0.28. Estos valores de la relación de Poisson en el

¹⁵

"Early Age Compressive Stress - Strain Properties of Low - Medium, and High - Strength Concrete", Arshad A. Khan, William D. Cook, and Denis Mitchel, ACI material Journal V. 92 November - December, 1995.

rango elástico parecen comparables al rango de valores esperados para concretos de baja resistencia.

2.5.1-7 FLUENCIA.

Como se mostró en el Diagrama Esfuerzo-Deformación en lo referente a la fluencia de Concretos de Alta Resistencia, estos presentan deformaciones por fluencia sensiblemente inferiores a las de concreto de baja resistencia, pero se debe tener en cuenta que la edad del concreto en el momento de aplicación de las cargas tiene enorme incidencia en las deformaciones por fluencia ya que estas se producen en los primeros tiempos después de poner carga al material.

2.5.1-8 RETRACCIÓN Y FLUJO PLÁSTICO.

La retracción por secado del Concreto de Alta Resistencia al igual que en los concretos de baja resistencia puede diferenciarse en dos etapas: Retracción a edad temprana y Retracción a largo plazo.

La Retracción a edad temprana o retracción hidráulica es debido principalmente a la evaporación del agua que no se combina químicamente con el cemento¹⁶, que produce microgrietas debido al secado. Mientras que la retracción a largo plazo se refiere a la desecación de la pasta de cemento en el concreto endurecido, que produce una deformación por acortamiento o encogimiento (contracción por secado), aumentando considerablemente, mediante este efecto la fuerza normal a las irregularidades o al perfil de rugosidad de los agregados proporcionando mayor fricción o adherencia al concreto.¹⁷

¹⁶ High - Strength Concrete, Skokie Ill, Concrete Information PCA. Pag. 15

¹⁷ " En defensa de la retraccion ", George Hill, Boletín ICPC No. 65 Abril - Junio 1994.

El flujo plástico o Contracción diferida es un cambio dimensional o incremento en deformación con el tiempo debido a un esfuerzo permanente que ha sido aplicado al concreto¹⁸. El flujo plástico del concreto puede ser beneficioso o perjudicial, dependiendo de las condiciones estructurales que prevalecen.

Los efectos de acortamiento debido al flujo plástico y a contracciones por secado deben ser consideradas y si es necesario compensadas en el diseño estructural ya que estos fenómenos pueden afectar a elementos estructurales como a columnas de edificios altos y muros de corte por la acumulación de las deformaciones de acortamiento a que están sometidos, sin embargo los elementos de concreto pretensado resultan más afectados donde las pérdidas de tensión en los cables pueden ser muy grandes por someter al concreto a esfuerzos a temprana edad, produciendo mayor encogimiento del mismo. Un elemento de concreto con su carga aplicada a una edad temprana exhibe mayor flujo plástico que un espécimen cargado a mayor edad, por lo que el flujo plástico disminuye con el incremento de la relación resistencia a esfuerzo aplicado con el tiempo. El flujo plástico bajo carga constante será más pequeño con el mayor incremento de la resistencia del concreto mientras esta bajo esa carga¹⁹.

El flujo plástico y la contracción por secado del concreto aumentan con un incremento en el contenido de agua. La contracción por secado es aproximadamente proporcional al porcentaje de agua por volumen en el concreto, mientras que el flujo plástico varía con la relación agua-cemento.

En Concretos de Alta Resistencia se ha observado que en sus momentos iniciales la contracción por secado es mayor que en los concretos de baja resistencia, pero después de 180 días existe poca diferencia entre ambos. Este puede quedar justificado por la

^{18 Y 19} High - Strength Concrete, Skokie III, Concrete Información PCA. Pag. 15 y 17

dependencia entre el valor de la contracción por secado y el contenido total de agua que difiere entre ambos concretos.²⁰

En Concretos de Alta Resistencia las deformaciones de flujo plástico son menores porque el incremento de la resistencia resulta de una disminuida relación agua - cemento. Por lo tanto estos concretos son los más indicados para ser usados en elementos presforzados, donde se requiere un mínimo acortamiento axial, para evitar o reducir la pérdida de tensión en los cables.

2.5.1-9 FRAGILIDAD.

La rotura de estructuras de concreto es normalmente una consecuencia de la iniciación y propagación de la fisuración, la cual puede ocurrir bajo cualquier tipo de acción. Así mismo el comportamiento en servicio depende de las características de fisuración. En estructuras de concreto reforzado, la pérdida de resistencia a tensión debido a la fisuración es compensada por el acero de refuerzo, pero los efectos de la fisuras en aspectos como durabilidad, fragilidad y la deformación a largo plazo hacen necesario el estudio de la fisuración.

Los métodos más usuales de investigación de la fisuración están basados en la Mecánica de la fractura la cual estudia la extensión de las fisuras, su aplicación en el campo del concreto son de dos tipos: ingeniería de materiales y análisis estructural.

El análisis general de una estructura puede realizarse de acuerdo a métodos lineales, no lineales, o análisis plásticos. La elección del método depende del comportamiento asumido de los materiales, y debido a que el comportamiento del concreto no siempre es elástico, los análisis basados en modelos de mecánica de fractura no lineal son utilizados para cuantificar

²⁰ State of the Art Report on High Strength Concrete Reported by ACI committee 363, en ACI Manual of Concrete Practice Part 1 - 1995 , Pag. No. 26.

la resistencia a la fisuración y la fragilidad del material y predecir la evolución de la fisuración, deformaciones estructurales y las cargas últimas.

La cuantificación de los parámetros de fractura en Concreto de Alta Resistencia es importante. Uno de estos parámetros es la tenacidad la cual es una medida de la intensidad de tensiones cuando se propagan las fisuras y describe la resistencia del material contra la fisuración. Otro parámetro de fractura del concreto esta relacionado con el comportamiento no lineal en el frente de propagación de la fisura. La energía es disipada en esta zona no lineal durante la fractura y consecuente falla. El tamaño de la zona de fractura mide la ductilidad del material (la inversa de su fragilidad).

El cambio del comportamiento en rotura con el incremento de la resistencia del Concreto de Alta Resistencia es diferente debido a la microestructura. En estos no existe, o son menos los puntos débiles en la interfase agregado-mortero, como poros o defectos que incrementan la energía de disipación durante la rotura en los concretos de baja resistencia. Por lo tanto las fisuras son pocas en números y se propagan a través de los agregados en lugar de rodearlos. Este cambio en el modo de rotura causa el característico incremento de la fragilidad del Concreto de Alta Resistencia²¹. Por lo tanto este es nombrado a menudo como "material frágil".

En base a la mecánica de la fractura se puede explicar que cuando el material es mucho más frágil, los defectos se pueden propagar como fisuras bajo tensiones más bajas, lo cual disminuye la tensión de rotura del concreto. Los Concretos de Alta Resistencia poseen menor resistencia al corte y debido a su rotura frágil el acero mínimo de refuerzo a ser utilizado en una estructura construida con estos tiene que ser mayor que en un concreto de baja resistencia.

La fragilidad del Concreto de Alta Resistencia puede ser disminuida añadiendo fibras metálicas, aunque estas no incrementan considerablemente la resistencia a compresión del

²¹ "Bases de Cálculo Para el Proyecto de Estructuras de Hormigón de Alta Resistencia", Antonio Aguado, Revista Cemento - Hormigón, Agosto 1992, No. 709, Pag. 999.

concreto, si contribuyen a aumentar la ductilidad del mismo como se puede comprobar por medio del incremento del área bajo la rama descendente del diagrama esfuerzo-deformación, obtenidos de concretos agregando fibras metálicas²². Proporcionar confinamiento con acero de refuerzo al concreto también contribuye a incrementar la ductilidad, por ejemplo colando las columnas de edificios altos en tubos de acero, o agregando estribos.

2.5.1-10 RESISTENCIA A LA FATIGA Y ADHERENCIA.

La falla por fatiga ocurre cuando una estructura de concreto falla catastróficamente con cargas menores que la carga de diseño después de haber sido expuesta a un gran número de ciclos de esfuerzos.²³

Las cargas de fatiga pueden ser causadas por vibraciones de máquinas, acción del oleaje y tráfico vehicular.

El problema de fatiga es necesario investigarlo en estructuras expuestas a extensos ciclos de oleaje y viento, como en las estructuras marinas, y dado que estas se construyen con el Concreto de Alta Resistencia, existe actualmente una tendencia en la investigación de fatiga debido a que es muy limitada la disponible en la actualidad.

La diferencia de la microestructura interna del concreto de baja resistencia es la que repercute en el distinto comportamiento ya que su libertad relativa del microagrietamiento interno en cargas de servicio lo hace más resistente a cargas repetidas consistiendo de un gran número de cargas cíclicas en un rango de esfuerzos relativamente bajas como en puentes.

²² "Influence of Steel Fibers on Strainsoftening of High Strength Concrete". Luc R. Taerwe, ACI materials Journal vol. 88, January - February 1992, Pag. 54.

²³ "Fatigue of High Strength Reinforced Concrete", A. Mor, B. C. Gerwick and W. T. Hester, ACI materials Journal, V 89 March-April 1992. Pag. 197.

En el concreto reforzado de Alta Resistencia la fatiga es una función de la adherencia entre el concreto y las barras de acero de refuerzo. La adherencia aumenta con el incremento de la resistencia a compresión del concreto, por lo que la adherencia de barras embebidas en Concretos de Alta Resistencia seria superior con respecto a concretos de baja resistencia. En cargas no cíclicas la adherencia permanece estable no obstante para el caso de las cargas repetidas, el comportamiento frente a adherencia de barras usando Concreto de Alta Resistencia seria más rígido y más frágil.²⁴

2.5.2 INFLUENCIA DEL CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES.

El Concreto de Gran Comportamiento tiene una microestructura diferente a la del concreto de resistencia normal, y directamente relacionado a esta diferencia interna se encuentran las propiedades mecánicas del mismo, como se describieron en la sección anterior, estas deben ser reconocidas por los ingenieros diseñadores para la predicción del comportamiento de las estructuras en que se utilice el Concreto de Gran Comportamiento para mantener la seguridad de las mismas.

La utilización del Concreto de Gran Comportamiento afecta diferentes aspectos que condicionan el comportamiento y por lo tanto el diseño de los elementos estructurales, de los cuales a continuación se tratan algunas consideraciones básicas de diseño.

2.5.2-1 VIGAS Y LOSAS.

Para Concretos de Alta Resistencia, la curva Esfuerzo-Deformación es más lineal que parabólica. Por lo tanto hay razón para sospechar que la forma de distribución de esfuerzos

²⁴

"El Hormigon de Alta Resistencia: Las Características que Condicionan el Cálculo Estructural". Enrique Gonzales Valle, Revista "Cemento - Hormigón", Agosto 1993. No. 722. Pag. 945.

a compresión del concreto en vigas y losas puede ser diferentes y se han propuesto bloques de esfuerzo triangular para representar las zonas a compresión del concreto como el mostrado en la figura 2.6. Sin embargo para vigas el convencional bloque de esfuerzos rectangular equivalente parece dar resultados satisfactorios para miembros reforzados requeridos por procedimientos del ACI 318 - 89 y 95. Por lo tanto la resistencia a flexión nominal de una viga simplemente reforzada puede ser calculada por:²⁵

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot d (1 - 0.59 \rho f_y / f'_c)$$

Donde:

M_n = Momento nominal en Kg-cm

A_s = Área del acero de refuerzo a tensión en cm^2

F_y = Resistencia a fluencia del acero en Kg/cm^2

d = Distancia de la fibra extrema en compresión al centroide del acero de refuerzo longitudinal en tensión en cm.

ρ = Relación de acero de refuerzo a tensión

f'_c = Resistencia a la compresión del cilindro de concreto, en kg/cm^2 .

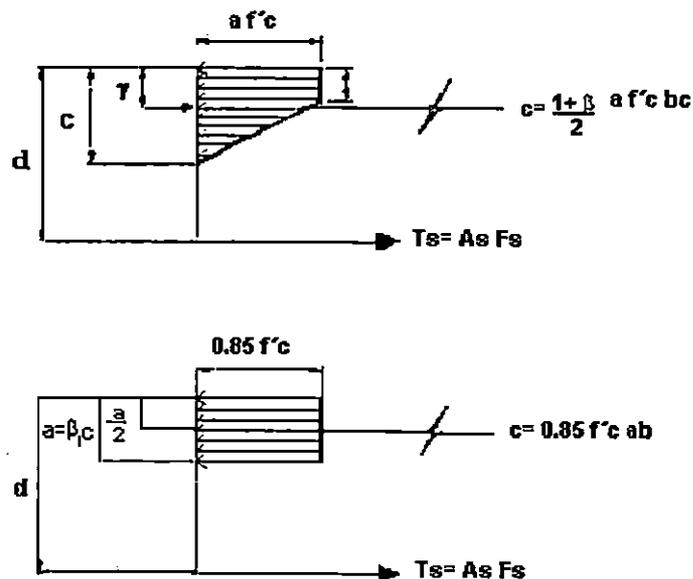


FIG. 2.6 Distribución de Esfuerzos del Concreto Para Vigas Rectangulares.²⁶

²⁵ y ²⁶ State of the Art Report on High Strength Concrete, Reported by ACI committee 363., en ACI Manual of Concrete Practice Part. 1 - 1995. Pag. 33 y 35.

El límite de deformación a compresión es menor en concretos de Alta Resistencia que para concretos de baja resistencia pero puede ser tomado el valor de deformación máxima de falla a compresión de 0.003 aunque no sea tan conservador para Concretos de Alta Resistencia.

En lo referente a la contribución al esfuerzo cortante de Concretos de Alta Resistencia, investigaciones indican que es conservadoramente determinada por la tradicional ecuación 11.3 del ACI 318 - 89 y 95 para relaciones de cortante a claro de 2.5 ó menos, pero para relaciones mayores y para proporciones de acero relativamente bajas dicha ecuación puede ser no conservadora:²⁷

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} \, b d$$

Donde: V_c = Resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto en kg.

f'_c = Resistencia a la compresión del cilindro de concreto en Kg/cm²

b = ancho de la sección en cm.

d = distancia de la fibra extrema en compresión al centroide del acero de refuerzo longitudinal en tensión, en cm.

La cuantía mínima de acero de refuerzo para elementos sujetos a flexión usando concretos de Alta Resistencia se ve incrementada para prevenir la rotura frágil, por lo tanto la ecuación 10.3 del ACI 318-89 sección 10.5 ha sido examinada:

$$\rho_{\min} = 14/f_y \quad \text{para } f_y \text{ en Kg/cm}$$

$$\rho_{\min} = 200/f_y \quad \text{para } f_y \text{ en psi}$$

²⁷ State of the art Report on High Strength Concrete, Reported by ACI Committe 363, en ACI Manual of Concrete Practice Part 1 - 1995. Pag. 33 y 35.

Para Concretos de Alta Resistencia es evidente que la resistencia del concreto debe ser incluida en la cuantía mínima de acero y una versión revisada de la ecuación anterior es presentada en ACI 363 como:

$$\rho_{\min} = 2.7\sqrt{f'_c}/f_y \geq 200/f_y$$

Para todo concreto con resistencia de 3000 psi a 12,000 psi (210 kg./cm² a 830 kg/cm²).

Actualmente el nuevo ACI 318-95 ha tomado en cuenta la versión revisada de la cuantía mínima de acero ya descrita incluyéndola como la nueva ecuación 10.3, debido a la tendencia actual de aumentar la resistencia al concreto y sobre todo por que la ecuación antigua resultaría insuficiente para estos casos. Se presenta la ecuación para encontrar el área de acero de refuerzo mínimo como:

$$A_{s\min} = 3\sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d / f_y \geq 200 \cdot b \cdot d / f_y$$

donde: f'_c = resistencia a la compresión del cilindro de concreto en psi.
 f_y = resistencia a la fluencia del acero en psi.
 b = ancho de la sección en pulg.
 d = distancia de la fibra externa en compresión al centroide de acero de refuerzo longitudinal en tensión en pulg.

2.5.2-2 COLUMNAS.

En los diagramas Esfuerzo-Deformación para concretos de baja resistencia, este alcanza el rango de una significativa no linealidad (deformación próxima a 0.001), mientras que el acero esta aun en el rango elástico y consecuentemente comienza a tomar una mayor parte de la carga. Cuando la deformación se acerca a 0.002, la inclinación de la curva Esfuerzo-Deformación del concreto esta cercana a cero y se puede considerar que esta deformándose plásticamente, con poco o sin incremento de esfuerzo. El Acero alcanza su punto de fluencia en aproximadamente ese mismo punto en este caso, de este modo el concreto esta

en su máximo esfuerzo y el acero esta en fluencia y la resistencia de una columna es determinado por la siguiente ecuación:²⁸

$$P = 0.85 f'c A_c + f_y A_s$$

Donde: $f'c$ = Resistencia a la Compresión del cilindro de concreto.
 f_y = Resistencia a la fluencia del Acero.
 A_c = Área de la Sección del Concreto.
 A_s = Área del acero de refuerzo.

El factor 0.85 es usado para tomar en cuenta las diferencias observadas en resistencia de columnas comparadas con concreto de la misma mezcla en pruebas a la compresión de cilindros.

Un análisis similar se mantiene para concretos de Alta Resistencia, excepto que el acero antes que el concreto alcanza su resistencia máxima. Sin embargo el acero continuará fluyendo para un esfuerzo esencialmente constante hasta que el concreto este completamente esforzado. A pesar de esto las predicciones de resistencia para columnas de concretos con alta resistencias pueden aun basarse en la ecuación anterior. Documentación experimental también apoya el uso del factor 0.85 para estos concretos.

Con respecto al efecto del confinamiento del acero lateral en columnas de concreto de baja resistencia las espirales continuas son preferidas, porque tienen efectos beneficiosos en el comportamiento de las columnas: por incrementar grandemente la resistencia del núcleo contra la expansión lateral bajo carga y porque incrementa la deformación axial del concreto, permitiendo una más gradual y dúctil falla.

La ecuación del ACI 318- 89 y 95 sección 10.9, para una relación volumétrica de acero mínimo en espiral en concretos de baja resistencia es la siguiente:

$$\rho = 0.45 (A_g/A_c - 1) f'c/f_y$$

Donde: ρ = Relación de volumen de refuerzo en espiral al volumen del núcleo del concreto

²⁸ State of the Art Report on High Strength Concrete, Reported by ACI Committe 363, en ACI Manual of Concrete Practice Part 1 - 1995. Pag. 29 - 30.

A_{gr} = Área gruesa de la sección de concreto.

A_c = Área confinada del concreto.

f_c = Resistencia a la compresión del cilindro de concreto.

f_y = Resistencia a la fluencia del acero en espiral.

Sin embargo reciente documentación experimental ha demostrado que el refuerzo en espiral para columnas de Concreto de Alta Resistencia, es menos efectivo, porque se ha encontrado que el esfuerzo en el acero de refuerzo en espiral en carga máxima para columnas de Concretos de Alta Resistencia es a menudo menor que la resistencia de fluencia f_y , asumida en la ecuación de acero mínimo en espiral anteriormente descrita²⁹. Esta importante diferencia en comportamiento significa que dicha ecuación debe ser examinada.

Sin embargo no hay todavía un acuerdo general sobre la efectividad del acero de refuerzo en espiral para mejorar la ductilidad de Concreto de Alta Resistencia en columnas es decir para incrementar la deformación límite y declive de la curva Esfuerzo-Deformación que pasa por el punto de esfuerzo máximo. Por lo tanto mayor investigación se realiza actualmente en este punto para establecer la efectividad del acero de refuerzo en espiral en columnas usando Concreto de Alta Resistencia

²⁹ State of the Art Report on High Strength Concrete, Report by ACI Commite 363, en ACI Manual of Concrete Practice 1-1995
Pag. 29-30.

2.6 APLICACIONES DE LOS CONCRETOS DE GRAN COMPORTAMIENTO.

Las aplicaciones que en la actualidad se están realizando sobre los Concretos de Gran Comportamiento se extienden a varios campos, específicamente a obras especiales. Estas aplicaciones se han clasificado en 2 grandes grupos:

- a) Aplicaciones Potenciales**
- b) Aplicaciones Varias.**

Estas son descritas en esta sección y aunque no se incluyen todas, se demuestra un amplio rango de aplicaciones de los Concretos de Gran Comportamiento.

2.6.1 APLICACIONES POTENCIALES:

2.6.1-1 EDIFICIOS ALTOS.

Esta es una de las aplicaciones más importantes de los Concretos de Gran Comportamiento en los que se utiliza altas resistencias mecánicas para construir estructuras de altura, resultando favorable desde el punto de vista técnico, económico y funcional que en la edificación se hallan buscado aplicaciones, específicamente en aquellos elementos estructurales que trabajan principalmente a compresión como son las columnas. Así como también los beneficios que se obtienen al utilizarlos en elementos planos, horizontales y de cimentación.

Algunos de los objetivos que se persiguen con el uso de estos concretos en la edificación son:³⁰

³⁰ "Aplicaciones de los HAR", Revista Cemento Hormigón. No. 730, Marzo 1994 pag.34.

- i) Aprovechar un mayor espacio al reducir la sección de las columnas, reduciendo al mismo tiempo las cargas transmitidas al terreno, lo que también disminuye el volumen de cimentación necesario para soportar al edificio.
- ii) Incrementar el área rentable por piso al disminuir el tamaño de las columnas.
- iii) Disminuir el espacio construido en las ciudades.
- iv) Aumentar la longitud de los claros libres en elementos horizontales, logrando una menor cantidad de ejes de vigas.
- v) ahorro en la cantidad de materiales como acero de refuerzo y concreto sin sacrificar la resistencia.
- vi) Reducción de los costos de mano de obra a través de una mayor facilidad de colocación y menores armaduras.
- vii) Reducción del ciclo constructivo al tener un más rápido desencofrado.
- viii) Lograr una mayor vida estructural.

2.6.1-2 LOSAS.

Los Concretos de Gran Comportamiento también son muy aplicables en los elementos planos de edificios como por ejemplo en:

- a) Losas de Concreto de Alta Resistencia con Agregado Ligeró.**
- b) Losas para Estacionamiento.**

a) LOSAS DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON AGREGADO LIGERO.

El uso de agregado ligero en losas representa una ventaja tanto técnica como económica al reducir su peso propio, resultando en una disminución de cargas transmitidas a vigas y columnas. Se ha demostrado que a pesar de que el concreto de Alta Resistencia con agregado ligero tiene un precio un poco mayor por m^3 que el concreto de resistencia

normal, al realizar un estudio de costos comparativos entre losas, columnas vigas y la cimentación, el uso de concreto de Alta Resistencia con agregado ligero resulta más económico.

b) LOSAS PARA ESTACIONAMIENTO.

En edificios para estacionamiento las estructuras planas se ven sometidas a un fuerte deterioro producido por el desgaste de la fricción o frotamiento del tráfico de vehículos; también en climas fríos el fenómeno de congelación y deshielo es un problema que afecta a las superficies de losas por el efecto del uso de sales antidescongelantes que son los causantes del deterioro de estas superficies. Por estas razones se usan los Concretos de Gran Comportamiento con propiedades específicas muy definidas como es el concepto de durabilidad para contrarrestar estos ataques y obtener superficies de concreto resistentes a la abrasión y a los ataques por agentes químicos.

2.6.1-3 PUENTES Y PASARELAS PEATONALES.

Los Concretos de Gran Comportamiento se emplean también en la construcción de puentes, con beneficios tan importantes como el poder salvar claros más grandes, consiguiendo aumentar la longitud de luces que hasta ahora era imposible obtener con concretos de resistencia normal, contribuyendo a disminuir el número de pilares o columnas necesarias³¹.

La relación resistencia a compresión/peso, la relativa alta resistencia a tensión y la menor deformación por fluencia son algunos de los beneficios que se obtienen con el uso de los Concretos de Gran Comportamiento en puentes, esto se debe a la mayor capacidad portante

³¹ "Ventajas e Inconvenientes del Hormigón de Alta Resistencia", Revista Cemento Hormigón No. 709 Agosto, 1992, Pag. No. 987.

del material que permite reducir el peso propio de las superestructuras, ésta reducción se traduce también en una cimentación menos voluminosa ³².

Otra aplicación de los Concretos de Gran Comportamiento son las pasarelas peatonales, muy importantes para la seguridad de la población que vive en ciudades con un fuerte tráfico vehicular, en estas al igual que en puentes es posible aumentar las longitudes de los claros y reducir el número de columnas³³.

2.6.1-4 PAVIMENTOS

El concreto hidráulico es utilizado para la construcción de pavimentos en:

- a) Carreteras.**
- b) Aeropuertos.**
- c) Pisos Industriales.**

En estas estructuras se consideran losas de concreto que están sometidas a cargas muy elevadas y constantes, así como también a exposiciones como la acción del clima, abrasión o desgaste, sustancias químicas agresivas, gases de carburación o cualquier otro proceso de deterioración.

El tráfico de vehículos genera raspaduras, patinazos, percusión y rozamiento sobre la superficie de los pavimentos y es la mayor acción destructiva a la que el concreto está sometido con frecuencia.

Estas acciones de carácter destructivo han obligado a que se utilicen concretos con características especiales que contrarresten los efectos de estos ataques en los pavimentos de concreto, donde el concepto de resistencia a la compresión, permeabilidad y durabilidad en este tipo de obras es un requisito fundamental.

³² "Concreto de Resistencia Superior", Dr. Jorge Gómez Domínguez, Revista IMCYC, Pág. 17.

³³ "Ventajas e Inconvenientes del Hormigón de Alta Resistencia", Revista Cemento Hormigón No. 709 Agosto, 1992, Pág. No. 988

a) CARRETERAS

Las carreteras con pavimentos de concreto están constituidas por una losa de concreto que es al mismo tiempo capa estructural y capa de rodamiento y que tiene a su vez una sensible rigidez a los esfuerzos de tensión. Aunque todavía tienen una menor difusión para su utilización, debido principalmente al costo inicial que representan y a los recursos con que se deben contar, estos pavimentos poseen mayores ventajas tanto técnicas como económicas a largo plazo que los pavimentos asfálticos.

Las estructuras de carretera tienen que soportar cada vez mayores cargas, impacto, tráfico intenso, abrasión, altas presiones de inflado de las llantas y las inclemencias climáticas que deterioran con rapidez los pavimentos asfálticos, elevando de sobremanera los costos de mantenimiento y operación.

La tecnología de los pavimentos de concreto ha desarrollado en los últimos años carreteras con Concreto de Gran Comportamiento el cual posee mayor calidad por ser diseñado para soportar cualquier condición climática que produzca expansiones y contracciones térmicas de calor y frío, además el concepto de durabilidad es característica esencial para contrarrestar las condiciones de exposición que pueden incluir sales y agresiones químicas, también la alta capacidad de distribución de cargas, el alto comportamiento bajo tráfico intenso, resistencia a sismos, impacto, viento y la calidad de rodamiento que ofrece este concreto.

Además los Concretos de Gran Comportamiento poseen características muy adecuadas para su utilización en pavimentos carreteros y se resumen en los siguientes aspectos ³⁴:

- Mínimo mantenimiento.
- Mínimos espesores de capa de rodamiento.
- Buen funcionamiento sobre bases débiles.

³⁴ "Pavimento Rígidos", Reunión del Concreto 1994, Memorias Técnicas. Tomo 2, Asocreto.

- Excelente desempeño ante temperaturas extremas.
- Resistencia a la erosión y a la agresión hidráulica.
- Visibilidad de iluminación.
- Menor costo de operación.
- Seguridad.
- Economía.
- Comodidad.

b) AEROPUERTOS.

El uso de pavimentos de Concreto de Gran Comportamiento en aeropuertos se han diseñado de acuerdo a requisitos básicos que deben cumplir, como lo son: durabilidad, resistencia al patinaje, resistencia y estabilidad estructural, regularidad superficial, disposición del agua superficial, resistencia a desplazamientos de origen térmico, al choque térmico, al empuje del chorro de las turbinas, a los agentes antidescongelantes en climas fríos, al derrame de combustible y lubricantes y además a razones de mínimo mantenimiento, para un período largo de vida útil³⁵.

El Concreto de Gran Comportamiento representa una ventaja técnica y económica al emplearlo en estos pavimentos ya que simplifican el proceso constructivo, reducen los tiempos de cierre de las pistas y las demoras para aerolíneas, minimizan el tiempo de actividades de mantenimiento y son la alternativa competitiva en costos con relación a otras disponibles.

³⁵ Concrete Paver Institute, Interlocking Concrete Pavements at Dallas-Fort worth International Airport.

c) PISOS INDUSTRIALES.

Los Concretos de Gran Comportamiento son la mayor opción para la construcción de pavimentos en pisos industriales tales como bodegas, patios de almacenamiento, almacenes de depósito, fabricas de industria, silos, tolvas, apoyos de maquinaria, cuartos fríos etc. Estos pavimentos son sometidos a cargas muy elevadas y constantes, así como también a tráfico de vehículos pesados que circulan por los pisos y que provienen de distintos orígenes como: los vehículos para el manejo de las mercancías, los de carga llamados "montacargas" y los de mantenimiento. Estos causan desgaste de las superficies debido a la acción abrasiva, principal problema que causa deterioro en los pisos industriales. Las cargas a la que se ven sometidos estos pisos generan esfuerzos de compresión, de corte, y de flexión como consecuencia del alabeo que se produce en las losas ³⁶.

Por lo que el uso de los Concretos de Gran Comportamiento con altas resistencias mecánicas es lo más recomendable para la construcción de Pisos Industriales, debido a que entre más alta sea la resistencia a la compresión mayor será el módulo de ruptura del concreto.

2..6.1-5 ESTRUCTURAS DE CIMENTACIÓN

- Zapatas
- Pilotes
- Losas de Cimentación

Estas estructuras están expuestas constantemente a agentes agresivos tales como: sulfatos, cloruros, ácidos, nitratos y sales de magnesio, que se encuentran presentes en el suelo, en las aguas subterráneas, descargas de industria química y ambientes marítimos.

³⁶ "Diseño de Pisos Industriales de Concreto", Ing. Cipriano Alberto Londoño, ICPC, Reunión del Concreto 1994, Tomo 2, Asocreto 1994.

El efecto agresivo del suelo y del agua subterránea se origina de diversas fuentes. La intensidad de la agresividad depende tanto de la naturaleza como de la cantidad de elementos deletéreos presentes en el suelo, en el agua superficial, en la del subsuelo y en la del mar.

Investigaciones realizadas en los últimos 50 años sobre las cimentaciones de ciertas estructuras de concreto de resistencia normal, llevadas a cabo en diferentes lugares, han demostrado que la expectativa de vida de estas cimentaciones generalmente decrece con el incremento de agentes agresivos que se encuentran en los suelos y en el agua subterránea ³⁷. Al tomar en cuenta, el grado de agresividad del suelo y del agua subterránea, el tipo de cimentación propuesta para: Zapatas, Losas de Cimentación ó Pilotes, la naturaleza de la superestructura que será construida, se ha llegado a una de las mejores soluciones recomendable para proteger las cimentaciones contra estas condiciones agresivas, esta es la utilización de los Concretos de Gran Comportamiento, aplicando el concepto fundamental de alta durabilidad. Para obtener estos concretos especiales y que la cimentación sea durable es necesario elegir adecuadamente los materiales como: cementos con bajo contenido de C₃A, los agregados tienen que estar bien graduados y no contener ningún tipo de elementos deletéreos, que el agua a emplear para el mezclado y curado no contenga cantidades perjudiciales de sales en solución, el empleo de aditivos especiales, una baja relación de agua/cemento y ciertas puzolanas como cenizas volantes y humo de sílice, además de un estricto control de calidad en su elaboración, colocación y curado.

2.6.1-6 ELEMENTOS Y ESTRUCTURAS DE OBRAS HIDRÁULICAS

- **Presas Hidráulicas.**
- **Tuberías de Aguas Lluvias y Aguas Negras.**

³⁷ "Cimentaciones de Concreto en Condiciones Ambientales Agresivas", Revista IMCYC No. 149, Vol. 21, Septiembre/30/1993.

- **Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.**

Normalmente las Estructuras Hidráulicas de Concreto están expuestas a ambientes de deterioro físico y químico, estos factores son altamente agresivos para estas estructuras de concreto, y que conjuntamente pueden acumularse para afectar la durabilidad práctica del concreto, incluyen las resistencias a condiciones de abrasión, ácidos, sulfatos y cloruros.

La durabilidad o vida de servicio de estas estructuras hidráulicas es tan importante como su capacidad para desempeñarse de acuerdo con sus funciones estructurales e hidráulicas.

Las causas de deterioro de estas estructuras hidráulicas actúan de dos formas: interna y externamente.

- Causas Internas:

La erosión es un tipo de abrasión que sufren las estructuras hidráulicas como Presas y Tuberías de concreto, debido a la acción de partículas de arena o grava contenido en agua corriente y que causa el deterioro de las superficies internas.

Las altas velocidades y presiones negativas, desgastan a las Presas de concreto, Vertederos, Tuberías y otros sistemas de conducción de agua, esto causa un deterioro progresivo del concreto, resultando en una erosión y descascaramiento severo que corroe el acero de refuerzo.

Las aguas residuales o de albañal, el agua servida de las industrias son colectadas en tal forma que contengan ó formen ácidos que ataquen al concreto. En los alcantarillados y en los sistemas de drenaje los ácidos, atacan la mayoría de los materiales de las tuberías y el área de ataque está limitada a la batea del tubo, o a la porción sumergida.

- Causas de Origen Externo:

Los sulfatos presentes en el suelo y en el agua subterránea o en los efluentes, son agresivos a este tipo de estructuras hidráulicas, estas se absorben y se concentran suficientemente

dentro del concreto, reaccionando con los constituyentes del concreto dando resultados expansivos que rompen las estructuras, específicamente en las tuberías.

La nueva generación de Concretos con Alto Desempeño han creado aplicaciones y beneficios para las estructuras hidráulicas, diseñadas para resistir el deterioro en condiciones normales y agresivas. La baja absorción es una de las principales características de estos concretos con fines de conducción de fluidos hidráulicos, esta es una medida de la durabilidad del concreto que se logra con la impermeabilidad que los Concretos de Gran Comportamiento ofrecen.

2.6.1-7 OBRAS MARÍTIMAS

Las estructuras marítimas construidas con concreto hidráulico se ven inmersas en un proceso de deterioro muy complejo debido al ataque corrosivo del agua de mar. Además la corrosión del concreto reforzado causado por el agua de mar es todo un proceso que con el tiempo se vuelve un grave problema, esto se debe a los mecanismos físicos de deterioración del concreto, asociados a las reacciones químicas entre los componentes del agua marina y los constituyentes de hidratación del cemento portland.

La permeabilidad es la característica más importante que determina la durabilidad del concreto en ambientes marinos, ya que la alta concentración de ion cloruro presente en el mar al filtrarse en el concreto provocan reacciones causando la corrosión del acero de refuerzo.

a) Plataformas Marítimas.

En años recientes muchas investigaciones inspiradas en la escasez mundial de energía, han descubierto en el Mar del Norte y en el Océano Ártico grandes reservas de petróleo y

gas natural, por lo que se han construido Plataformas Marinas de concreto reforzado "Off - Shore", para explotar estos recursos naturales, estas plataformas operan en el mar entre los 70 y 250 mt. de profundidad, además este descubrimiento genera y distribuye grandes cantidades de combustible, lo que también ha requerido la construcción de grandes depósitos para su almacenaje, sobre plataformas marinas.

Por otra parte los países desarrollados e industrializados están enfrentando las presiones de la congestión urbana, sobrepoblación y la contaminación del medio ambiente, considerando por ahora la idea de localizar las ciudades, aeropuertos, centrales nucleares y plantas de disposición de residuos sobre plataformas marinas (off-shore).

b) Túneles Submarinos.

El Concreto de Gran Comportamiento ha encontrado amplia aplicación en los túneles bajo el mar, debido a la impermeabilidad que presenta, lo que se traduce en una gran protección frente a la corrosión de armaduras, también además se ha empleado este tipo de concreto en la construcción de gasoductos en túneles bajo el mar para transportar el gas que producen en las plataformas marinas del mar del norte y del océano ártico (off-shore)³⁸.

Además de plataformas marinas muchas otras grandes obras como: Puertos, Muelles, Fundaciones, Muros de Contención y rompeolas son construidos en la actualidad con Concretos de Gran Comportamiento, diseñados a resistir las agresiones del agua de mar, proveer altas resistencias mecánicas, impermeabilidad y por lo tanto durabilidad, siendo la mejor opción para este tipo de estructuras.

³⁸ "Ventajas e Inconvenientes del Hormigón de Alta Resistencia", Revista Cemento Hormigón, No. 709, Agosto 1992, Pag. No. 987.

2.6.1-8 ELABORACIÓN DE CONCRETO PREMEZCLADO

Actualmente la tecnología del concreto exige de una reestructuración de los conceptos de control de calidad y de las técnicas de producción en la industria del concreto premezclado. La durabilidad es probablemente el parámetro más destacable de la calidad del concreto y sin duda, una de las características más importantes que se deben lograr en su producción.

Además del concreto convencional, las plantas de concreto premezclado deben tener la suficiente capacidad de producir diferentes tipos de concretos con características especiales, que se adecuen a una industria de la construcción cada vez más exigente. Recientemente la industria química ha desarrollado un gran número de aditivos y cementantes que se usan en la industria del concreto premezclado, estos aditivos junto con los materiales cementantes (cemento, cenizas volantes y humo de sílice), han logrado que se produzcan concretos con alto desempeño.

El Concreto de Gran Comportamiento debe de ser un producto diseñado y elaborado en planta, con sus propiedades específicas muy definidas como lo son la máxima trabajabilidad y durabilidad, con la máxima resistencia a la agresión química y física, altas resistencias mecánicas, mínimas tensiones térmicas e hidráulicas. Que puedan ser colocados en cualquier obra y con cualquier equipo, planta dosificadora, concretas de gravedad, transporte a distancia mediante camiones concretos y consistencia fluida ó incluso líquida cuando sea conveniente.

Para producir los Concretos de Gran Comportamiento la industria de premezclado debe poseer de una infraestructura que contenga investigación y desarrollo, control de calidad, servicio técnico a los clientes, equipo adecuado para producir y transportar el concreto con personal en venta y mercadeo, que conozca y entienda perfectamente la tecnología del concreto.

Además se debe recalcar que la ejecución de obras especiales con Concreto de Gran Comportamiento solo es posible con la producción industrial del concreto en planta premezcladora.

La producción e investigación en Concretos de Gran Comportamiento llevará al productor a suplir nuevos productos requeridos por la industria de la construcción. Las empresas de premezclado deben estar familiarizados con los conceptos de Concreto de Gran Comportamiento para que sean usados como herramientas de mercado, deben de estar de acuerdo, aceptar y promover las barreras institucionales, y tener como meta ésta nueva etapa en la evolución de la industria de la construcción.³⁹

2.6.1-9 PREFABRICACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS DE CONCRETO PRESFORZADO.⁴⁰

Actualmente la construcción con elementos de concreto presforzados es considerada como la mejor de las actividades constructivas, por disponer de varios sistemas de construcción eficientes, rápidos, económicos y de gran calidad.

La prefabricación de elementos pretensados y postensados, requiere esencialmente de la utilización de los Concretos de Gran Comportamiento con altas resistencias mecánicas, ya que el concreto debe resistir durante algunas etapas de su vida de servicio una combinación de esfuerzos de compresión, ocasionados por el presfuerzo y por la carga muerta. Con una resistencia más alta se obtiene un módulo de elasticidad mayor y se reducen las pérdidas de presfuerzo. La alta resistencia coincide también con una reducción del flujo plástico y contracciones.

³⁹ "El Estado del Arte en USA del Concreto de Gran Comportamiento", Jaime Moreno, Material Service Corporation, Reunión del Concreto '94, IMCYC, Abril 27, 1994.

⁴⁰ "Construcción de Estructuras de Concreto Presforzado" Ben C. Gerwich Sr. Mexico 1986

El módulo de elasticidad del concreto aumenta aproximadamente según la raíz cuadrada de la resistencia, por consiguiente, se mejoran las características de deformación; también la resistencia a la tensión aumenta según la raíz cuadrada de la resistencia nominal, mejorando así el comportamiento de los miembros bajo sobrecargas o condiciones de presfuerzo parcial. Generalmente la durabilidad es directamente proporcional a la resistencia, ya que los mismos factores que aumentan ésta, incrementan también la durabilidad, reduciendo la porosidad y la permeabilidad.

El concreto presforzado es una actividad industrial, con una producción comercial, en plantas de precolado y pretensado, se requiere de altas resistencia a edades tempranas, a menudo un día después del colado, las técnicas de producción de altas resistencias a edades tempranas conducen automáticamente a la obtención de concretos con resistencias mayores a los 400 kg./cm² a los 28 días.

Los diseñadores han percibido las ventajas técnicas y económicas que se obtienen al utilizar el concreto presforzado con altas resistencias mecánicas, especificando resistencias de 400 a 800 kg./cm² para usos tales como:

- En puentes se utilizan vigas de concreto presforzado, la alta resistencia permite usar claros mayores o reducir el número de vigas en cada claro. Los elementos precolados se fabrican en planta y se ensamblan en campo por medio de postensado.
- En edificios se utilizan en losas de piso, techo, muros, pilotes y miembros de compresión de concreto presforzado. La capacidad de carga es directamente proporcional a la resistencia. También además en armaduras y marcos espaciales, en los que se aplica postensado axial a los miembros precolados.
- En estructuras marinas se utilizan en pilotes para muelles, puertos y plataformas marinas, cubiertas de piso, tablestacas, muelles para carga y petróleo, muros de contención, pistas de aterrizaje construidas sobre el agua, plataformas marinas (off shore), estructuras

costeras como: rompeolas, muros para el control del movimiento de arena (erosión y depósitos), muelles para recreo, muelles para descarga de tuberías y bóvedas de concreto presforzado.

- Tubos, tuberías a presión y Acueductos de concreto presforzado.
- Tanques de concreto presforzado
- Pavimentos de carreteras, aeropuertos e industriales de concreto presforzado.

2.6.1-10 ELEMENTOS PRESFORZADOS DE CONCRETO LIGERO ESTRUCTURAL DE ALTA RESISTENCIA.⁴¹

El concreto ligero estructural de alta resistencia se esta utilizando ampliamente en el presforzado. Las técnicas usadas para el diseño de la mezcla y su colocación se han desarrollado al grado de que el concreto ligero puede utilizarse con confianza tanto en construcciones altamente técnicas como en la producción en serie. Sin embargo, el concreto ligero de alta calidad se puede obtener solamente utilizando con cuidado las técnicas y controles adecuados, con personal capacitado y bien entrenado, de no ser así, pueden presentarse contracciones y flujo plástico excesivos así como segregación y deformaciones irregulares.

En casi todos los tipos de aplicaciones el concreto ligero presforzado se ha usado como un sustituto ligero del concreto normal, el alcance de esta sustitución ha variado muy ampliamente, dependiendo de las ventajas económicas inmediatas que se obtienen. Por esto, el mayor uso que se da al concreto ligero presforzado es en: Losas aligeradas presforzadas

⁴¹ "Construcción de Estructuras de Concreto Presforzado" Ben C. Gerwich Sr. Mexico 1986

en Edificios y Puentes, Vigas presforzadas para Puentes, Pasarelas peatonales, y en Estructuras Marinas flotantes.

Su bajo peso ha sido también un factor determinante en su selección para vigas de puente presforzadas. Por su peso reducido produce ahorros en la estructura particularmente en las Cimentaciones. En terrenos buenos, se pueden reducir los asentamientos o el tamaño de las zapatas y, en terrenos malos, puede reducirse la cantidad de pilotes, en terrenos intermedios pueden usarse zapatas amplias o losas de cimentación en lugar de pilotes. Los ahorros en cimentaciones se han considerado como la mayor ventaja económica del uso del concreto ligero.

El menor peso reduce también las cargas sísmicas de diseño. Esta reducción puede ser importante, no sólo para la estructura, sino también para los detalles de conexión y las cimentaciones. El peso reducido facilita también el transporte de los elementos prefabricados, ya que a menudo el peso máximo de acarreo está limitado, el uso del concreto ligero permite acarrear piezas más grandes, de manera similar, en el montaje, en donde las capacidades de las grúas están limitadas, el concreto ligero permite el montaje de elementos más grandes.

Las aplicaciones del concreto ligero estructural en las que se obtienen los mayores beneficios a largo plazo son aquellas en que se aprovechan al máximo sus propiedades y características específicas, no en las que se selecciona únicamente como un sustituto, sino como un material nuevo en la tecnología del concreto.

2.6.2 APLICACIONES VARIAS.

2.6.2-1 INDUSTRIA QUÍMICA⁴²

- Laboratorios donde se manejan productos radiactivos
- Laboratorios para Hospitales donde se requiere protección de los rayos gamma y de neutrones.

2.6.2-2 TORRES⁴³

- Torres de Telecomunicación.
- Torres para Monumentos.

2.6.2-3 OTRAS OBRAS.

- Cajas fuertes en Bancos.
- Obras de Arte.
- Depósitos Enterrados para Almacenar combustible.
- Protecciones militares frente a penetración de proyectiles.⁴⁴
- Reparación de Estructuras

⁴² "El Estado del Arte en USA del Concreto de Gran Comportamiento", Jaime Moreno, Material Service Corporation, Reunión del Concreto'94, IMCYC, Abril 27, 1994.

⁴³ "Una Torre de 170 mts. de prefabricados de hormigón", Revista "Cemento-Hormigón". No. 758, Marzo 1996.

⁴⁴ "El Hormigón de Alta Resistencia (HSC)". Las características que condicionan el cálculo estructural. Enrique Gonzales, Revista Cemento Hormigón, Agosto 1993, No. 722.

2.7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS CONCRETOS DE GRAN COMPORTAMIENTO.

Piedra, madera, arcilla, concreto simple o reforzado, acero estructural y combinaciones de estos, son los materiales que históricamente han sido empleados por el hombre en su incesante afán por mejorar sus condiciones de vida. El concreto y el acero han surgido producto de la investigación y desarrollo, convirtiéndose desde el punto de vista estructural y arquitectónico como los materiales más usados en la actualidad, debido a las múltiples ventajas técnicas y económicas que estos presentan.

A nivel mundial el acero ha tenido gran aceptación en la construcción de edificaciones de altura, este se caracteriza por ser resistente a esfuerzos de tensión y compresión, es dúctil, rígido y posee poco peso, puede verse como desde los años 30 hasta los años 90 las estructuras más altas eran de acero, relegando a un segundo plano a las estructuras de concreto, debido al elevado peso propio y poca resistencia de estas en comparación con el acero. Pero el desarrollo de la tecnología del concreto en los últimos años ha sido notable en lo referente a la investigación y desarrollo de aditivos y adiciones que han permitido dosificar y producir Concretos de Gran Comportamiento que poseen excelentes cualidades entre las que destacan alta resistencia a las acciones mecánicas, facilidad de colocarse y amoldarse a cualquier forma, estos son solo algunos de los aspectos que atraen a estructuristas y arquitectos a optar por el concreto, pero la principal ventaja que posee el Concreto de Gran Comportamiento sobre el acero en las edificaciones de altura, son sus excelentes propiedades térmicas que lo mantienen invariable frente al fuego y donde el acero representa graves peligros si no está debidamente protegido. En la actualidad los edificios más altos del mundo son de concreto y ya se proyectan megaestructuras que hacen prometedor el futuro para el Concreto de Gran Comportamiento.

Aún cuando los componentes principales del Concreto de Gran Comportamiento son semejantes a los de un concreto normal, es el uso de nuevos aditivos que ha permitido introducir cambios significativos en la microestructura y la reología del Concreto de Gran Comportamiento, facilitando usar bajas relaciones de agua-cemento, disminuir la segregación y exudación, mantener la estabilidad volumétrica y mejorar la trabajabilidad, todos estas prestaciones dan como resultado una mayor densidad en el concreto que reduce la permeabilidad, incrementando la resistencia a los ataques de ácidos, sulfatos, reactividad alcali-agregado, abrasión, congelamiento y deshielo, todas estas ventajas quedan incluidas en la durabilidad, uno de los parámetros de calidad más destacados y requeridos en la actualidad, que deja atrás el concepto de que lo único importante en el concreto es su resistencia.

De todas las características mecánicas que posee el Concreto de Gran Comportamiento, la más notable es su resistencia a la compresión, que permite obtener secciones de columnas de menor tamaño para condiciones equivalentes de carga o mantener la sección e incrementar la carga, en el caso de las vigas se puede aumentar la longitud, disminuir el acero de refuerzo y en muchos casos disminuir la cantidad de vigas requeridas para soportar un determinado esfuerzo. Pero el Concreto de Gran Comportamiento no solo posee una resistencia a la compresión más alta de lo normal, si no que también mayor resistencia a la tensión, mayor módulo de elasticidad y menor fluencia, reduciendo de manera significativa los daños por agrietamiento que pueden ocurrir en el transporte y manejo de elementos prefabricados. La disminución de la fluencia ayuda evitar la pérdida de tensión en los cables de acero del pretensado, siendo ideal para vigas de grandes claros, además un incremento en el módulo de elasticidad le proporciona a estos concretos una gran estabilidad y rigidez minimizando los movimientos horizontales y reduciendo a corto y largo plazo las deflexiones causadas a los elementos estructurales por la acción de las cargas.

Además de sus ventajas técnicas el Concreto de Gran Comportamiento también es considerado como un material ecológico, en la actualidad las entidades ambientalistas promueven el uso de materiales que aseguren la eficiencia energética, la calidad del aire, la minimización de los desperdicios y la conservación de los recursos naturales. Estas exigencias en su mayoría son cumplidas por el concreto, generalmente los materiales básicos que lo integran son de origen natural, agua, grava, arena y minerales que han sido calentados y molidos para formar el cemento, el consumo de energía de estos y del concreto en su fabricación y colocación es el más bajo en comparación con otros materiales de construcción, las emanaciones gaseosas son nulas, haciendo ideal al concreto para ser combinado con cualquier material sin peligro alguno para la salud humana. Además es un material reciclable, hay experiencias con buenos resultados en el uso de agregados provenientes de la demolición de estructuras, también las aguas de enjuague en las plantas de premezclado pueden ser usadas para hacer nuevas mezclas de concreto, todos estos son aspectos que hacen del Concreto de Gran Comportamiento un material "verde", completamente sano que no reacciona de forma agresiva con el medio ambiente.

Pero no todo es ventajoso en el Concreto de Gran Comportamiento, en la actualidad existen inconvenientes técnicos, económicos y conceptuales sobre el uso de este material, la mayor desventaja es el desconocimiento de las propiedades del Concreto de Gran Comportamiento, por la poca historia sobre su uso práctico, ocasionando vacíos que desaniman a constructores y estructuristas a su empleo. Muchos consideran que las normas y métodos de cálculo actuales no son confiables, debido a que son derivados de expresiones empíricas para ensayos de concreto normal, ya algunos experimentos indican que la validez de estas expresiones se vuelve cuestionable al usarlas para predecir el comportamiento de estos concretos.

La dosificación del concreto de Gran Comportamiento es más compleja que la de un concreto normal, debido a la mayor cantidad de factores a optimizar, los altos contenidos de cemento y la poca cantidad de agua generan mayor calor de hidratación, que puede producir temperaturas altas y nocivas al concreto, requiriéndose de mejores y estrictos métodos de curado para evitar agrietamientos que afecten la resistencia y la durabilidad del Concreto de Gran Comportamiento.

Uno de los aspectos que más incertidumbre causa al usar Concretos de Gran Comportamiento es la fragilidad que presentan, conduciendo a colapsos mas catastróficos de la estructura y es que aunque la fractura es consecuencia de la fisuración y ocurre bajo cualquier tipo de acción mecánica, en el Concreto de Gran Comportamiento se ve incrementada, recientemente se han realizado estudios sobre la fracturación y una alternativa para disminuir la fragilidad es la adición de fibras de acero al concreto, para aumentar la ductilidad, pero se necesita de tiempo para efectuar pruebas complejas que determinen la factibilidad técnica y económica del uso de fibras metálicas.

Para los movimientos ambientalistas es una preocupación el incremento en la producción de aditivos y adiciones, que se incluyen al concreto, para mejorar sus propiedades y es que resulta paradójico que el Concreto de Gran Comportamiento sea durable y compatible con el medio ambiente, cuando algunos de sus componentes son altamente nocivos a la salud humana y al medio ambiente.

El precio es uno de los principales inconvenientes del Concreto de Gran Comportamiento, se requieren agregados de buena calidad, altos contenidos de cemento, uso de superplastificantes y la inclusión de adiciones minerales, que en muchos casos resulta costosa su adquisición por la poca disponibilidad en los mercados locales, son algunos de los factores que afectan el costo, también hay que agregar la necesidad de personal calificado

que realice un minucioso y estricto control de calidad para evitar imprevistos que afecten de manera negativa la resistencia del concreto.

Es obvio que las desventajas técnicas y económicas son inconvenientes que en ningún momento limitan el uso del Concreto de Gran Comportamiento, estas pueden ser superadas haciendo cambios en los métodos de diseño, sistemas de producción, métodos de control, contratos y realizando estudios económicos de las distintas soluciones que determinen la factibilidad del uso de estos concretos.

Actualmente el aspecto conceptual es uno de los principales factores que impiden la difusión del Concreto de Gran Comportamiento y para contrarrestarlo se hace necesario implementar políticas que incluyan a proveedores, productores, diseñadores, constructores e investigadores y cuyo trabajo interdisciplinario aporte normas y recomendaciones que contribuyan a esclarecer las dudas existentes sobre el concreto de Gran Comportamiento y sus aplicaciones.

2.8 CONSIDERACIONES ECONÓMICAS DEL CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO.

Al traducir los conceptos de diseño a elementos estructurales o formas arquitectónicas, los ingenieros usan análisis numéricos de permiten proporcionar a un costo mínimo seguridad, resistencia, y durabilidad de la obra bajo cualquier condición de servicio. En muchos casos el uso de Concreto de Gran Comportamiento puede elevar los costos significativamente, pero este incremento en el costo de materiales, mano de obra y ejecución de la obra, es compensado por una relación compresión/costo más baja que en el acero estructural y el concreto normal. Según estudios realizados se ha determinado que a medida se incrementa la resistencia del concreto, la relación compresión/costo disminuye, esta es una ventaja muy atractiva para estructuras de concreto, especialmente para columnas que forman parte de edificios altos, por ejemplo: para soportar una carga de servicio de 45360 Kg. el costo es de \$ 71.40 por Kg. por pie de longitud con concreto de 420 kg./cm², \$60.00 por Kg. por pie de longitud con concreto de 530 Kg./cm², y más aun si aumentamos la resistencia del concreto a 630 kg./cm² el costo es de \$52.00 por Kg. por pie de longitud. Es obvio que un aumento en la resistencia permite una disminución en la cantidad de acero de refuerzo a utilizar en la columna, para el caso una columna de 75 x 75 cm. con concreto de 450 kg./cm² necesita una cantidad de acero igual al 4% del área de la columna para soportar una determinada carga, mientras que esa misma columna con una resistencia de 630 kg./cm² únicamente requiere el 1% de acero, el mínimo exigido por el reglamento. Además de reducir el acero de refuerzo también podemos reducir la sección de la columna sin sacrificar la resistencia, esto es importante para arquitectos, estructuristas y principalmente para los propietarios que pueden disponer de un mayor espacio útil, aspecto benéfico en grandes ciudades donde la plusvalía del metro cuadrado de construcción justifica las inversiones que pueden ser amortizadas a corto y mediano plazo. Material Service Corporation condujo un

estudio en la ciudad de Chicago en 1990 donde se demostró que el precio y volumen de Concreto de Gran Comportamiento que se ocupan para soportar una carga son menores que al usar concreto normal, además al sustituir concreto de 210 kg./cm² a concreto de 950 kg./cm² los costos aumentan alrededor de 3 veces, pero la capacidad de carga aumenta aproximadamente 5 veces, pudiendo hacer reducciones en las secciones de las columnas hasta del 40%.

El Concreto de Gran Comportamiento necesita agregados de buena calidad, altos contenidos de cemento, uso de superfluidificantes y la inclusión de adiciones minerales que pueden resultar costosas por su poca disponibilidad en los mercados locales. En muchos casos el costo de materiales es un obstáculo para la ejecución de una obra, hecho que se ve agravado por la actitud tradicionalista de algunos ingenieros que se oponen a usar nuevos materiales, sin evaluar los beneficios que se pueden obtener. Hay quienes sugieren la posibilidad de considerar el uso de cemento tipo III de alta resistencia a edad temprana, como una alternativa para obtener a un menor costo una resistencia adecuada a las necesidades del proyecto, algunos estudios apuntan que con cemento tipo III se obtienen incrementos en la resistencia muy leves, alrededor de 2% y 3% más que el cemento tipo I, además por ser mas finamente molido, puede presentar problemas con los aditivos y con las bajas relaciones agua/cemento que le impidan completar su hidratación, pero en todo caso desde el punto de vista económico resultaría más barato utilizar un cemento de categoría más alta si ello conlleva a utilizar una cantidad menor de adiciones minerales.

Mientras la selección de los materiales puede influenciar en los costos de manera directa, un factor que depende principalmente del uso de Concreto de Gran Comportamiento, es el costo por la cantidad de pruebas y el control e inspección del concreto, debido a que el Concreto de Gran Comportamiento es menos tolerante a los errores de diseño y elaboración, el procedimiento de mezclado, transporte y colocación tienen que ser

verificado por personal calificado que realice un minucioso y estricto control de calidad para evitar imprevistos que afecten de manera negativa la resistencia del Concreto de Gran Comportamiento.

La relación costo-efectividad del Concreto de Gran Comportamiento es más ventajosa que la de otros materiales, ya que los procesos constructivos se puede llevar a cabo con mayor rapidez, las altas resistencias a temprana edad permiten un desencofrado rápido y la disponibilidad del espacio en menor tiempo.

En general una de las principales aplicaciones del Concreto de Gran Comportamiento es en Edificaciones de altura, donde se pueden aprovechar muchas ventajas económicas derivadas de la resistencia a compresión de estos concretos. Existen otras aplicaciones donde resulta económico usarlo, especialmente cuando se trata de obras proyectadas para largos períodos de servicio como son: Puentes, Presas, Plantas de Tratamiento de Aguas Negras, Vigas de claros largos, Losas y Parqueos. En todo caso la decisión de usar Concreto de Gran Comportamiento, debe basarse en un estudio objetivo de todas las posibilidades, buscando que la solución sea determinada desde el punto de vista de la durabilidad, para asegurar la vida útil de la estructura minimizando los gastos de operación y mantenimiento de la misma.

2.9 SITUACIÓN ACTUAL DE LOS CONCRETOS DE GRAN COMPORTAMIENTO EN EL SALVADOR.⁴⁵

En los últimos años El Salvador ha experimentado una serie de cambios, tanto sociales como económicos. Esto ha permitido que el sector de la construcción busque desarrollarse, aunque los problemas con los cuales este se enfrenta son muchos tales como: escasez de mano de obra calificada, falta de materiales de alta calidad, así como también de una tecnología apropiada que haga eficiente y productivo el trabajo y que deseche aquellos procesos artesanales.

Con la situación actual se ha querido conocer la realidad en el país acerca del tema. La metodología utilizada para conocer esta situación consistió en realizar un diagnóstico en donde se planteo un corto cuestionario que contenía una serie de preguntas, con la cual se entrevistaron a empresas, profesionales y estudiantes relacionados con la industria de la construcción, cuyas respuestas permitieran determinar el grado de conocimiento, utilización ó aplicación de los Concretos de Gran Comportamiento en El Salvador.

El Diagnóstico realizado involucro a:

- Productores de Concreto Premezclado.
- Productores de Elementos Prefabricados, Pre y Postensados.
- Laboratorios de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Materiales.
- Diseñadores de Estructuras de Concreto
- Constructores
- Profesores de Ingeniería Civil
- Estudiantes de ultimo año en Ingeniería Civil.

⁴⁵ Nota 1: La idea de Situación Actual de los Concretos de Gran Comportamiento En El Salvador , fue tomada de un documento titulado: "Mitos, Leyendas y Realidades del uso del Concreto de Alta Resistencia en Colombia". Reunión del Concreto 1994. Memorias Técnicas, tomo 2.

El cuestionario utilizado contenía una serie de interrogantes que se formularon de acuerdo a la actividad de cada empresa ó profesional, citados anteriormente.

Las preguntas fueron las siguientes:

- a) ¿Conoce usted lo que es el Concreto de Gran Comportamiento?
- b) ¿Para usted que es Concreto de Alta Resistencia?
- c) ¿Sabe usted, si ofertan el Concreto de Gran Comportamiento en las plantas de premezclado?
- d) ¿Producen las Plantas de Premezclado el Concreto de Gran Comportamiento?
- e) ¿Cuales son las resistencias más usuales?
- f) ¿En donde los han utilizado?
- g) ¿Producirían Concretos de Gran Comportamiento con Altas Resistencias Mecanicas?.
- h) ¿Diseñaría con este tipo de concreto?
- i) ¿Utilizaría este tipo de concreto?
- j) ¿Que ventajas y desventajas le ve?
- k) ¿Que tipo de elementos fabrican con concreto de alta resistencia?
- l) ¿Cree que podría tener aplicaciones en un futuro y en que tipo de estructuras?
- m) ¿Algún comentario adicional?

Las respuestas que se obtuvieron a estas interrogantes por parte de los entrevistados, lo hicieron en forma de resumen para no mostrar opiniones particulares, dando un concepto general de su criterio en cuanto al tema.

En resumen se obtuvieron las siguientes respuestas:

- a) Al consultar a los distintos involucrados respecto a la primer pregunta: **¿Conoce usted lo que es el Concreto de Gran Comportamiento?**, la mayoría dijo desconocerlo, mientras que los demás dijeron conocerlo como Concreto de Alta Resistencia.⁴⁶

⁴⁶

Nota 2: De acuerdo a la primer pregunta realizada al grupo de cuestionados, se dedujo que el termino de "Concreto de Gran Comportamiento", era desconocido por la mayoría ó que lo conocían como "Concreto de Alta Resistencia", por lo que se opto utilizar ambos términos en varias preguntas del cuestionario.

- b) **Al preguntar acerca del Concreto de Alta Resistencia**, se determinó que en nuestro medio no es de común conocimiento hacer una definición de este concreto, además no está establecido un rango que determine sus valores de resistencias mecánicas.

Varios de los profesionales consultados expresaron que consideraban a los Concretos de Alta Resistencia a un concreto con una resistencia a la compresión a los 28 días por encima de los 350 kg./cm², mientras que para otros la resistencia de este estaba por encima de los 400 kg./cm².

Con esta pregunta se determinó que aunque la mayoría de los entrevistados conocían el término de Concreto de Alta Resistencia, para no todos era claro lo que significaba en realidad.

- c) En cuanto a la pregunta: **¿Sabe usted si ofertan el Concreto de Gran Comportamiento ó el Concreto de Alta Resistencia en las plantas de premezclado?**, la respuesta en la mayor parte de los cuestionados fue negativa, generando comentarios que se concentraban en que resultaría complicado utilizarlo, si a caso estuviera disponible en planta, ya que este tipo de concreto requiere de un estricto control de calidad.

Además no creen que se puedan suministrar desde la planta concretos especiales de este tipo, que alcance la resistencia requerida y que sea uniforme en su producción por lo que consideraban que era irrelevante su uso.

- d-e-f-g) En las plantas de producción de concreto premezclado se preguntó: **¿Elaboran Concretos de Gran Comportamiento ó de Alta Resistencia?**, las respuestas determinaron que solamente en una de las plantas de premezclado lo habían producido, y que **fue utilizado** en la reparación del vertedero de la presa 15 de septiembre, cuya Resistencia a la Compresión a los 28 días alcanzó los 750

kg./cm², este concreto actualmente no lo elaboran por no tener demanda, pero expresaron que lo producirían, si este fuera solicitado. Además manifestaron que concretos de Media y Alta resistencia se producen con poca frecuencia y cuyas resistencias oscilan entre los 350 a 450 kg./cm², aunque algunos concretos no los elaboran en la planta de producción, si no que instalan una dosificadora en el sitio de la obra. Varios ejemplos fueron citados tales como:

- i) El uso de Concreto de Alta Resistencia de 400 kg./cm² en pavimentos de la pista del Aeropuerto en Comalapa.
- ii) Concretos de Resistencia medias de 350 kg./cm², utilizados en el edificio de Pan American Life en San Salvador (este concreto fue elaborado en planta).
- iii) Aplicación de concreto de resistencia media en algunos puentes postensados ubicados en carretera hacia Sonsonate y autopista a Comalapa, cuyas resistencias oscilan entre los 350 a 400 kg./cm².

Al profundizar con los productores de concreto premezclado en las razones de sus respuestas, se plantearon otras preguntas como la siguiente: **¿Producirían Concretos de Gran Comportamiento con altas resistencias mecánicas entre los 700 - 800 kg./cm²?.** La respuesta fue positiva, pero expresaron que la producción de este concreto de alta resistencia, presentaría dificultades para elaborarlo, manifestando que la principal dificultad seria el costo en su producción, por el estricto control de calidad requerido y la utilización de materiales de alta calidad como cemento, aditivos y adiciones minerales, que no se encuentran en el mercado nacional y que su importación representa un elevado costo.

h-i) Con respecto a las preguntas: **¿Diseñaría con este concreto?** y **¿Donde los utilizaría?**. Las respuestas del grupo de diseñadores de estructuras consultados fue muy

variada, algunos expresaron que no lo utilizarían en sus diseños, otros lo utilizarían pero en ciertas estructuras y muy pocos afirmaron que lo utilizarían.

Los profesionales que declararon afirmativamente, lo utilizarían en diseños de estructuras especiales como por ejemplo: en vigas con luces grandes para superestructuras de puentes ó en estructuras que requieren durabilidad.

Además los diseñadores comentaron que el reglamento de diseño sísmico de El Salvador, no cubre el uso de este tipo de concreto, por lo que consideraban una incertidumbre utilizarlo en el diseño de estructuras.

j-k-l) ¿ Que Ventajas le ve ó le vería al utilizar Concretos de Gran Comportamiento ó

Concretos de Alta Resistencia?. Esta pregunta condujo a respuestas muy interesantes por parte de los diseñadores de estructuras, constructores y de los productores de elementos prefabricados, haciendo referencia a que una de las mayores ventajas de usar altas resistencias es la de poder reducir secciones y aumentar las posibilidades de esbeltez.

Otra de las ventajas es que con el uso de este tipo de concreto se ampliaría el futuro de la industria de los prefabricados con técnicas de pre y postensados, específicamente en elementos para losas con placas presforzadas y vigas postensadas para la superestructura en puentes.

El grupo de constructores entrevistados, manifestaron que la única ventaja que podrían tener estos concretos al utilizarse altas resistencias en edificaciones, es la de obtener valores de resistencias a edades tempranas, lo que significa un ahorro en los encofrados y en los tiempos de ejecución de obra.

También se comentó el uso que se le puede dar en pavimentos rígidos para carreteras al poder reducir los espesores de la capa de concreto.

En cuanto a las desventajas que el Concreto de Gran Comportamiento ó de Alta Resistencia presenta, el grupo de entrevistados concentro la respuesta en 2 aspectos:

i) Económico y ii) Técnico.

i) El aspecto Económico fue la mayor desventaja de varios encuestados, expresando que el costo de elaboración y adquisición sería el principal inconveniente.

ii) Técnico: para la mayoría, el control de calidad representa una desventaja técnica, tanto en su elaboración como en su colocación, comentando que no se cuenta con el personal ni con el equipo adecuado para poder utilizarlos.

Por otra parte los estructuristas consideran complicado su uso, debido a que los concretos con altas resistencias adquieren características de fragilidad lo que representa un riesgo ante las cargas sísmicas, específicamente en edificaciones altas. Por lo que en El Salvador debido a su actividad sísmica, resultaría en desventaja su utilización.

Los Laboratorios de suelos y materiales que se consultaron, coincidieron en sus respuestas al ser cuestionados en cuanto al tema de los Concretos de Gran Comportamiento ó de Alta Resistencia, expresando que se necesita de un estricto control de calidad para elaborarlos y colocarlos en la obra, manifestando que desconfiarían del Concreto de Alta Resistencia premezclado y entregado en obra, aduciendo que si a veces se presentan problemas con concretos de resistencia normal, como sería en el caso de estos concretos, específicamente en el control de la temperatura, en la trabajabilidad y en el fraguado inicial.

CONCLUSIONES

- El diagnóstico realizado demostró que existe poco conocimiento respecto al tema.
- Algunos profesionales conocen al Concreto de Gran Comportamiento como: Concreto de Alta Resistencia.
- Los productores de Concreto premezclado producen concretos de media y alta resistencia con poca demanda, cuyos valores de resistencia oscilan entre los 350 a 400 kg./cm².
- Las empresas de elementos prefabricados del país, utilizan concretos de media y alta resistencias en sus productos, específicamente en elementos pre y postensados, tuberías y postes de concreto. Se han clasificado en cuatro grupos, la demanda actual de estos concretos de acuerdo al producto elaborado y a su resistencia a compresión a 28 días de edad:

| <u>PRODUCTO</u> | <u>RESISTENCIA</u> |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| 1) Losas aligeradas pretensadas..... | 350 - 450 kg./cm ² . |
| 2) Vigas postensadas en puentes..... | 350 - 400 kg./cm ² . |
| 3) Tuberías de Concreto..... | 210 - 400 kg./cm ² . |
| 4) Postes de Concreto..... | 280 - 450 kg./cm ² . |

Esta claro que la elaboración y aplicación de este tipo de concreto en nuestro país, lo realizan las empresas que ofrecen productos específicos terminados.

- El sector Gubernamental actualmente es el único que ha utilizado el Concreto de Gran Comportamiento en el país, en construcciones de infraestructura de servicios.

Por Ejemplo:

- En la Reparación del vertedero de la Presa 15 de Septiembre, utilizando concreto con una resistencia de: $f'c = 750 \text{ kg./cm}^2$.
- Concreto de media y alta resistencia en Vigas postensadas para la superestructuras de puentes en: Autopista a comalapa con un $f'c = 385 \text{ kg./cm}^2$, carretera hacia sonsonate con resistencia entre los 350 a 400 kg./cm^2 . Además también en el Aeropuerto en comalapa, en aeropista de concreto con una resistencia $f'c = 400 \text{ kg./cm}^2$.

Finalmente el diagnóstico demostró enfáticamente la incredulidad y el temor de los entrevistados respecto al tema. Además pocas personas hicieron comentarios adicionales, expresando que el tema de los Concretos de Gran Comportamiento debería ser divulgado para que los empresarios de la construcción se motivaran a realizar investigaciones y que los diseñadores y constructores lograran romper las barreras del tradicionalismo y de las técnicas artesanales.

CAPITULO III

"TECNOLOGIA DEL CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO"

3.1 INTRODUCCIÓN.

Una de las principales características del Concreto de Gran Comportamiento es el uso de materiales de buena calidad en su elaboración: un cemento adecuado, agregados resistentes con forma, tamaño y granulometría adecuadas así como el uso de aditivos y adiciones, son requisitos indispensables para lograr las prestaciones deseadas en estos concretos.

En las proporciones de las mezclas de Concreto de Gran Comportamiento generalmente hay altos contenidos de cemento, poca cantidad de agua y bajas relaciones de Agua/Cementantes que pueden afectar la trabajabilidad e hidratación del concreto, pero con el uso de aditivos superplastificantes se ha logrado introducir cambios significativos en la microestructura y reología del concreto, permitiendo disminuir la segregación, exudación, sangrado y contracción plástica, manteniendo la estabilidad volumétrica y mejorando la trabajabilidad. Todos estos factores permiten al concreto alcanzar una alta resistencia mecánica y un buen desempeño en ambientes severos.

En las siguientes secciones se describen los materiales y las características básicas para elaborar Concreto de Gran Comportamiento, así como también se trata la importancia de su diseño y proporcionamiento para obtener un concreto de altas prestaciones tanto en estado fresco como endurecido.

3.2 COMPONENTES DEL CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO.

3.2.1 CEMENTO

El cemento a utilizar en el Concreto de Gran Comportamiento no necesariamente tiene que ser especial, comúnmente por su gran disponibilidad, su bajo costo y buen desempeño el cemento portlan tipo I resulta eficaz para cualquier uso que se requiera a menos que las especificaciones exijan el uso de otros tipos de cementos. En todo caso el cemento a utilizar deberá ser elegido en base a su disponibilidad en los mercados locales, a las características físicas y químicas de este así como también de acuerdo a las características propias de la estructura y a las condiciones de exposición y servicio a que estará sometida durante su vida útil.

Aunque el cemento portland tipo I da buenos resultados en la resistencia del concreto, en muchos casos se necesita una alta resistencia inicial que puede ser obtenida usando cemento portland tipo III, si bien es cierto que el concreto hecho con cemento tipo III desarrolla una resistencia a edades tempranas mayor que la del concreto hecho con cemento tipo I, bajo condiciones óptimas de curado la resistencia después de 3 meses es aproximadamente la misma⁴⁷ y en caso de lograrse su incremento en la resistencia, generalmente es del 2% al 3% más que el concreto elaborado con cemento tipo I.

Debido al alto contenido de cemento en las mezclas de Concreto de Gran Comportamiento es de esperarse que ocurran aumentos en la temperatura del concreto, en tal caso es conveniente tomar en cuenta la posibilidad de usar cemento portland tipo IV de bajo calor de hidratación, estos cementos resultan efectivos cuando se efectúan colados en estructuras de concreto masivo, donde se tiene que conservar al mínimo posible la temperatura generada por el endurecimiento del concreto.

⁴⁷ Asociación Centroamericana del Cemento y Concreto "Cemento Portland de Alta Resistencia Inicial", TAC 16, San José Costa Rica.

El uso de cementos tipo II y V dependerá de las condiciones de exposición de la estructura, el Concreto de Gran Comportamiento con cemento tipo I debido a su alta densidad y compacta microestructura es capaz de resistir satisfactoriamente el ataque de los sulfatos, pero cuando las condiciones de exposición a los sulfatos son mayores a lo normal es conveniente usar cemento tipo II y si las condiciones de exposición son muy severas el cemento tipo V es adecuado. Hay que tomar en cuenta que el uso de estos cementos aumenta aún más los costos en el Concreto de Gran Comportamiento, pero el aumento se acepta cuando se diseñan costosas estructuras para largos períodos de servicio en severas condiciones de exposición.

La composición química del cemento tiene un efecto directo en el desempeño del Concreto de Gran Comportamiento, lo ideal es un cemento con un contenido bajo de aluminato tricalcico ($3CaOAl_2O_3$), aunque este compuesto propicia mayor velocidad de fraguado, también genera mayor calor de hidratación y es muy susceptible al ataque de los sulfatos. Con respecto al contenido de trisilicato tricalcio ($3CaOSiO_2$) este compuesto es más deseable porque contribuye al incremento de la resistencia a corto y mediano plazo en el concreto.

El uso de cementos más finos ocasiona ciertos problemas de incompatibilidad con los aditivos superplastificantes, además como la dosificación del Concreto de Gran Comportamiento es rica en cemento y con el uso de adiciones activas (Microsílica, Fly Ash y Escorias de Alto Hornos) que demandan una cantidad mayor de agua, pueden ocurrir serios problemas de hidratación que afecten las propiedades del concreto y provocar una caída en la resistencia de este.

Un indicador de las características del cemento es la prueba de resistencia a la compresión de los cubos de mortero (ASTM C-109), pero también es conveniente efectuar pruebas de resistencia a la compresión en cilindros de concreto a los 56 y 90 días para determinar la

resistencia del Concreto de Gran Comportamiento, otros parámetros a tomar en cuenta a la hora de elegir el cemento son la finura del cemento (ASTM C-115, C-204, y C-430), Sanidad (ASTM C-151), consistencia (ASTM C-187) y tiempo de fraguado (ASTM C-191).

3.2.2 AGUA.

La calidad del agua de mezclado es muy importante, pues cualquier sustancia dañina que contenga aún en proporción pequeña puede tener significativos efectos en las propiedades del concreto. Según el comité ACI 363 los requisitos de calidad del agua para concreto de Gran Comportamiento son similares a los del concreto convencional.

Usualmente se especifica que el agua para concreto debe ser apta para consumo humano, aunque esta afirmación es cierta, no debe tomarse como absoluta debido a que hay aguas potables que contienen Nitratos o pequeñas cantidades de azúcares que no afectan la potabilidad pero son inadecuadas para el concreto.

Cuando se habla de agua para el concreto, se puede pasar por alto el aspecto bacteriológico, es más importante tomar en cuenta las características físico-químicas de esta y sus efectos en el concreto. La presencia de sólidos inorgánicos, cloruros, sulfatos y dióxidos de carbono se tolera y aún no hay consenso generalizado a limitar su contenido en el agua a determinados rangos. En lo que si todos concuerdan evitar son los contenidos de grasas, aceites, azúcares y ácidos, estas sustancias se consideran altamente nocivas al concreto y su sola presencia se toma como síntoma de contaminación en aquellas aguas que se destinan para las mezclas de concreto.

Es recomendable que el agua de origen dudoso sea sometida a un análisis comparativo de laboratorio identificando y cuantificando sustancias e impurezas dañinas al concreto. La norma ASTM C-109 resulta adecuada cuando hay dudas sobre el agua, se pueden fabricar cubos de mortero y sí alcanzan una resistencia a los 7 días igual o mayor al 90% de los

especímenes testigos hechos con agua destilada, el agua se puede usar en las mezclas de concreto. También es conveniente efectuar el ensaye de la ASTM C-191 para asegurar que el contenido de impurezas no afecte la resistencia del concreto. En la siguiente cuadro se muestran algunos criterios de aceptación del agua a usar en el concreto:

Cuadro No. 3.1 Tolerancias de Concentraciones e Impurezas en el Uso de Agua Para Mezclar.⁴⁸

| IMPUREZAS | Máxima concentración tolerada, ASTM |
|--|-------------------------------------|
| Carbonato de sodio y potasio | 1,000 ppm |
| Cloruro de sodio | 20,000 ppm |
| Cloruro, como Cl (concreto preesforzado) | 500 ppm |
| Cloruro, como Cl (concreto húmedo o con elementos de Aluminio, metales similares galvanizados. | 1,000 ppm |
| Sulfato de sodio | 10,000 ppm |
| Sulfato, como SO ₄ | 3,000 ppm |
| Carbonatos de calcio y magnesio, como ión bicarbonato. | 400 ppm |
| Cloruro de Magnesio | 40,000 ppm |
| Sulfato de Magnesio | 25,000 ppm |
| Cloruro de calcio (por peso de cemento en concreto) | 2% |
| Sales de hierro | 40,000 ppm |
| Yodato, arsenato, fosfato y borato de sodio | 500 ppm |
| Sulfito de sodio | 100 ppm |
| pH | 6.0 a 8.0 |
| Hidróxido de sodio (por peso de cemento en concreto) | 0.50% |
| Hidróxido de potasio (por peso de cemento en concreto). | 1.20% |
| Azúcar | 500 ppm |
| Aceite mineral (por peso de cemento en concreto) | 2% |
| Agua con algas | 0 |
| Materia orgánica | 20 ppm |
| Agua de mar (contenido total de sales para concreto no reforzado) | 35,000 ppm |
| Alcalis totales como Na | - |
| Dióxido de carbono disuelto CO ₂ | - |
| Sólidos en suspensión en agua natural | 2,000 ppm |
| Sólidos en suspensión en aguas recicladas | - |
| Magnesio como Mg | - |
| Total de impurezas en solución | - |

NOTAS:

- Las aguas que exedan de los límites enlistados para cloruros, sulfatos y magnesio, podrán emplearse si se demuestra que la concentración calculada de estos compuestos en el agua total de la mezcla incluyendo el agua de absorción de los agregados u otros orígenes, no exede dichos límites.
- Cuando se use cloruro de calcio (CaCl₂) como aditivo acelerante, la cantidad de este debe tomarse en cuenta para no exeder el límite de cloruros de esta tabla.

⁴⁸ Tomado de revista "Construcción y Tecnología", No. 48, mayo de 1992. Pag. 31.

3.2.3 AGREGADOS.

Dado que los agregados comprenden una fracción grande del volumen del concreto, las características de los mismos influyen significativamente en las propiedades del concreto, incluyendo su resistencia y por ello deben seleccionarse los agregados que presenten la mejor calidad para obtener los mejores resultados y sobre todo si se requiere un Concreto de Gran Comportamiento.

En esta investigación solamente se tratan las técnicas para seleccionar y utilizar los agregados de peso normal (1200 a 1760 Kg./m³), para la elaboración de Concretos de Gran Comportamiento y no se incluyen las técnicas para los agregados ligeros estructurales (560 a 1120 Kg./m³) y agregados de densidad elevada (2082 a 4645 Kg./m³), para la elaboración de Concreto Ligero de Gran Comportamiento y Concreto de Peso Pesado de Gran Comportamiento respectivamente.

3.2.3-1 AGREGADO FINO.

La forma y textura superficial de la arena tendrá una gran influencia en la demanda de agua de la mezcla en el Concreto de Gran Comportamiento, por lo tanto la arena de río es recomendable porque sus partículas son de forma redondeada y de textura lisa significando una menor demanda de agua. Las arenas procedentes de trituración pueden afectar significativamente la demanda de agua, requiriéndose una cantidad de agua mayor para igual trabajabilidad, debido a su textura rugosa que solo sería beneficiosa para la adherencia de pasta de cemento hidratada a agregado fino, que no es tan significativa en el concreto por la mayor área superficial de adherencia disponible de la pasta de cemento.

En los Concretos de Gran Comportamiento debido a los altos contenidos de material cementante el papel de la arena para otorgar trabajabilidad y buenas propiedades de

acabado no es relevante como ocurre en el concreto normal y dado que ese alto contenido de material cementante significa una cantidad alta de material fino, en las mezclas de Concreto de Gran Comportamiento los Módulos de Finura (MF) de la arena usadas en estos se recomienda estén entre 2.7 a 3.20 considerados para arenas gruesas⁴⁹, y con la posibilidad de reducir el contenido de agua requerida en el concreto las cantidades de arena pasando las mallas No. 50 y No. 100 deberán mantenerse bajas, pero siempre dentro de los límites requeridos por la norma ASTM C-33.⁵⁰

Lavar la arena puede ser necesario y las arenas naturales conteniendo grandes cantidades de Mica, ciertas arcillas minerales, o otros materiales deletéreos deben ser evitadas porque estas pueden incrementar la demanda de agua y afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento y consecuentemente la resistencia a compresión.

3.2.3.-2 AGREGADO GRUESO

En los concretos de resistencia normal la relación agua-cemento es el parámetro principal que determina la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad, siendo sus zonas más débiles la pasta de cemento hidratada y la zona de transición alrededor de la grava (interfase pasta-agregado), esto se debe a que la grava en concretos de baja resistencia siempre tiene mayor resistencia que la pasta de cemento hidratada y la transferencia de esfuerzos a través de ésta hacia la grava no es significativa⁵¹. Por el contrario en Concretos de Gran Comportamiento no solo la relación agua/cemento ó agua-cementantes determinan su resistencia y módulo de elasticidad si no que contribuye también la resistencia de la grava debido a que la unión o adhesión entre la grava y la pasta de cemento hidratada es tan fuerte que resulta una transferencia significativa del esfuerzo

⁴⁹ High-Strength Concrete, Skokie, ILL, Concrete Information PCA pag. No. 5.

⁵⁰ State of the Art Report on High Strength Concrete. Reported by ACI Committee 383, en ACI manual of concrete practice part.1-1995 pag. No. 6.

⁵¹ High-Strength Concrete, Skokie ILL, Concrete Information PCA pag. 2

através de la interfase pasta-agregado. Al mismo tiempo la resistencia durante la fase de pasta de cemento hidratada es muy alta, y algunas veces más alta que la resistencia de las partículas del agregado. Al observar las fracturas de las superficies en el Concreto de Gran Comportamiento se ha demostrado que pasan a través de la grava. Efectivamente en algunas circunstancias, la resistencia de los agregados es el factor limitante en la resistencia a la compresión de este tipo de Concreto⁵². Por lo tanto debe existir una compatibilidad entre los módulos de elasticidad de la pasta de cemento hidratada y la grava utilizada, esta debe de ser más resistente cuanto más alta sea la resistencia requerida del concreto.

Las clases de roca para la obtención de grava triturada que son recomendables por ofrecer mayor resistencia y mayor módulo de elasticidad para la elaboración de Concretos de Gran Comportamiento son las siguientes:

Cuadro 3.2 Rocas para obtención de grava triturada recomendables para la elaboración de Concretos de Gran Comportamiento. (1 Mpa = 10.2 Kgr/cm²)⁵³.

| Clase de Roca | Resistencia a Compresion | Módulo de Elasticidad |
|---------------------------|--------------------------|-----------------------|
| Granitos Sanos | 120 a 240 Mpa | 40 a 70 Gpa |
| Riolitas | 150 a 340 Mpa | 70 a 80 Gpa |
| Sienitas | 110 a 250 Mpa | 60 a 80 Gpa |
| Dioritas | 140 a 230 Mpa | 40 a 60 Gpa |
| Microdioritas | 160 a 300 Mpa | 90 a 100 Gpa |
| Ofilitas | 210 a 270 Mpa | 90 a 100 Gpa |
| Basaltos | 130 a 450 Mpa | 60 a 78 Gpa |
| Cuarcitas | 360 Mpa | 91 Gpa |
| Calizas y Dolomitas duras | 130 a 190 Mpa | 50 a 70 Gpa |

La graduación de la grava usada para Concretos de Gran Comportamiento como mínimo debe cumplir con los límites especificados en la norma ASTM C-33 y debe existir una combinación óptima de arena y grava bien graduada.

⁵² "Estudio de Concreto con Alta Resistencia a la Agresión Provocada por la Contaminación del Medio Ambiente", 2º parte, Santos Fernando Alberto, Tesis UES agosto 1995 Pag. No. 33.

⁵³ "Aridos para Hormigones de Alta Resistencia. Sus características". Eduardo Herrero N. Revista "Cemento - Hormigón". Agosto 1992 No. 709 pag. No. 1141.

Determinar el tamaño óptimo de la grava para diferentes niveles de resistencia tiene un valor práctico para los productores de Concretos de Gran Comportamiento y según estudios realizados al respecto estos ya pueden afirmar que para obtener una resistencia a la compresión óptima con alto contenido de cemento y relaciones bajas de agua-cemento el tamaño máximo de la grava deberá mantenerse a un rango mínimo de 9.5 mm (3/8 pulg) a 12.7 mm (1/2 pulg). Tamaños máximos de 19 mm (3/4 pulg) y 25.4mm (1 pulg) también han sido usados frecuentemente obteniendo buenos resultados, sin embargo los tamaños más pequeños de grava producen más alta resistencia debido a las menores concentraciones severas de esfuerzo alrededor de las partículas, las cuales son causadas por las diferencias entre el modulo de elasticidad de la pasta de cemento hidratada y la grava⁵⁴.

Para la producción de Concretos de Gran Comportamiento se recomienda utilizar grava triturada ya que estas logran mayor adherencia con la pasta de cemento hidratada respecto a la grava de canto rodado, aunque con estas se pueden obtener resistencias hasta de 715 Kg./cm² para mayores resistencias resultan inadecuadas y las gravas trituradas resultan más recomendables en estos casos con el único inconveniente de la mayor demanda de agua para igual consistencia debido a la mayor superficie a mojar, lo que hace necesario que el agregado presente un buen coeficiente de forma para mejorar la trabajabilidad.

La grava ideal a utilizar en Concretos de Gran Comportamiento debe ser cien por ciento triturada, limpia, de forma cúbica y con un mínimo de partículas planas y alargadas, con gravedad específica alta y absorción moderada entre 1.5 a 2.5%.⁵⁵

El lavado de la grava es de vital importancia, si presentan recubrimientos de polvo y arcilla; el polvo puede afectar la cantidad de finos y en consecuencia la demanda de agua y la arcilla puede afectar la unión entre la pasta de cemento hidratada y el agregado.

⁵⁴ State of the Art Report on High Strength Concrete. Reported by ACI Committe 363, en ACI Manual of Concrete Practice Part. 1-1995 Pag. No. 6.

⁵⁵ High Strength Concrete, Skokie ILL., Concrete Information PCA, pag. No.4.

El estudio de las reacciones químicas de los agregados contenidos en los Concretos de Gran Comportamiento se hace necesario para determinar la reactividad de los mismos y dado que en estos concretos la durabilidad es una propiedad requerida se debe garantizar que los agregados a utilizar sean sanos. Las principales reacciones de los agregados como la reacción álcali-sílice y álcali-carbonato así como también las pruebas de laboratorio para determinar su reactividad fueron tratadas en el capítulo 2 sección 2.4.1.

3.2.4 ADITIVOS.

Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto además del cemento portland, del agua y de los agregados que se agregan a la mezcla inmediatamente antes del mezclado o durante el mismo.⁵⁶

Los aditivos interactúan con el sistema de hidratación cementante, ya sea por medios físicos, químicos o físico-químico, modifican una o más propiedades del concreto, ya sea en las etapas fresco, de fraguado y endurecimiento.

Por su función, se les puede clasificar a los aditivos como:

- Aditivos Incluidores de Aire.
- Aditivos Reductores de Agua.
- Aditivos Retardantes.
- Aditivos Acelerantes.
- Aditivos Superplastificantes.
- Aditivos diversos, para mejorar la trabajabilidad, la adherencia a prueba de humedad, impermeabilizantes, formadores de gas, colorantes, inhibidores de corrosión, y ayudas para el bombeo.

⁵⁶ "Aditivos Para el Concreto." Diseño y Control de mezclas de concreto- Steven H. Kosmatka y William C. Panarese
Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. Pag. No.67.

- **Razones para el Uso de Aditivos:**

Algunos de los fines más importantes para los que se utilizan los aditivos son:

Modificación del concreto en estado fresco.

- Para aumentar la trabajabilidad sin incrementar el contenido de agua, o para reducir el contenido de agua con la misma trabajabilidad.
- Para retardar o acelerar el tiempo de fraguado inicial.
- Para reducir o evitar el fraguado o para crear expansión ligera.
- Para mejorar la capacidad de evitar el sangrado.
- Para reducir la segregación.
- Para mejorar la penetración y la bombeabilidad.
- Para reducir la pérdida de revenimiento.

Modificación del concreto en estado endurecido.

- Para retardar o reducir la evolución de calor durante el endurecimiento temprano.
- Para acelerar el desarrollo de resistencia a edades tempranas.
- Para incrementar la resistencia (a la compresión, a la tensión o a la flexión).
- Para incrementar la durabilidad o resistencia a condiciones severas de exposición, incluyendo la aplicación de sales descongelantes.
- Para reducir el flujo capilar de agua.
- Para reducir la permeabilidad contra los líquidos.
- Para controlar la expansión causada por la reacción de los álcalis con ciertos constituyentes de los agregados.
- Para producir concreto celular.
- Para incrementar la adherencia del concreto con el refuerzo.
- Para incrementar la adherencia entre concreto viejo y nuevo.
- Para mejorar la resistencia al impacto y a la abrasión.

- Para impedir la corrosión del metal ahogado.
- Para producir concreto o mortero coloreado.

- **Especificaciones Para Aditivos.**

Las siguientes especificaciones cubren los tipos o clases de aditivos.

- 1.-Aditivos Incluidores de Aire: ASTM C 260 y AASHTO M 154.
- 2.-Aditivos Reductores de Agua y Reguladores de Fraguado: ASTM C 494 y AASHTO M194.

Según la norma ASTM C 494 hace una clasificación de 7 diferentes tipos de aditivos utilizados en las mezclas:

- Tipo A. Reductores de Agua.
- Tipo B. Retardantes
- Tipo C. Acelerantes.
- Tipo D. Reductores de Agua y Redardantes.
- Tipo E. Reductores de Agua y Acelerantes.
- Tipo F. Reductores de Agua de Alto Rango.
- Tipo G. Reductores de Agua de Alto Rango y Retardantes.

- 3.- Aditivos para producir Concreto Fluido: ASTM C 1017.

Esta especificación (ASTM C 1017) cubre 2 tipos de aditivos químicos que también son tratados en la Norma ASTM C 494 (tipos F y G).

- Tipo I : Superplastificantes .
- Tipo II : Superplastificantes y Retardantes.

3.2.4-1 ADITIVOS ESPECIALES PARA CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO.

Los Aditivos considerados para emplearse en el Concreto de Gran Comportamiento, son principalmente los Reductores de agua de alto rango ó Superplastificantes, además también se emplean aditivos reductores de Agua de medio rango, aditivos inclusores de aire, aditivos que inhiben la corrosión, agentes espumosos, estabilizadores de hidratación y una combinación de estos aditivos con los reductores de agua.

La necesidad de usar un reductor de agua en la fabricación de Concretos de Gran Comportamiento amerita una breve explicación. Sin un reductor de agua de alto rango, 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 intrabajable. Al mismo tiempo, la cantidad de cemento no se puede elevar excesivamente, no sólo por el costo, si no que un alto contenido de cemento puede aumentar el calor de hidratación. 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 rango, la proporción de a/c no puede reducirse a un valor por debajo de 0.4.

• ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES (REDUCTORES DE AGUA DE ALTO RANGO).⁵⁷

Los aditivos superplastificantes⁵⁸ son aditivos reductores de agua de alto rango que cubren las especificaciones ASTM C 494 y C 1017, que se agregan a los concretos de revenimiento y relación agua-cemento bajos a normales para producir concretos fluidos de alto revenimiento.

Los aditivos Superplastificantes son sustancias químicas que se agrupan en 4 categorías⁵⁹:

⁵⁷ "Diseño y Control de mezclas de Concreto", Steven H. Kosmatka y William C. Panarese. IMCYC, Primera edición 1992.

⁵⁸ Los términos "Superplastificante y Superfluidicante" a menudo se emplean como sinónimos de aditivos reductores de agua de alto rango.

⁵⁹ "Aditivos Superfluidificantes para Concretos", IMCYC, Editorial Limusa, Primera edición, México 1990, pag. 17.

Categoría A : condensados de formaldehído melamina sulfonados.

Categoría B : condensados de formaldehído naftalina sulfonados.

Categoría C : lignosulfonatos modificados.

Categoría D : Otros.

- **Concreto Fluido:**

Los concretos producidos con estos aditivos son muy fluidos pero trabajables los cuales se pueden colocar con poca o ninguna vibración o compactación, pudiendo quedar todavía libres de sangrado o segregación excesiva.

El concreto fluido se emplea en:

- Colados de secciones delgadas
- Áreas que tengan el acero de refuerzo cercanamente espaciados o muy congestionado.
- Colados con tubo-embudo (bajo el agua).
- Como concreto bombeable para disminuir la presión de la bomba, obteniendo con ello un aumento en la distancia de bombeo horizontal y vertical.
- Las áreas donde los métodos convencionales de consolidación no se puedan emplear o resulten poco prácticos.
- Para aminorar los costos de manejo.

Con la adición de un superplastificante a un concreto con revenimiento de: 0 a 7.5 cm se puede producir fácilmente un concreto con 22.5cm de revenimiento.

El concreto fluido queda definido por la especificación ASTM C 1017 como aquel concreto que tiene un revenimiento mayor de 19 cm y que todavía conserva sus propiedades cohesivas. Los revenimientos excesivamente altos, mayores o iguales de 25 cm, pueden provocar que el concreto se segregue. El concreto fluido no debe mostrar sangrado ni segregación excesivo, asimismo la acción retardante anormal o la inclusión de aire en exceso deben también estar ausentes en estos concretos.

- **Concreto con Reducción de agua:**

Los reductores de agua de alto rango, también se pueden emplear para fabricar concretos de baja relación agua cemento y de alta resistencia con trabajabilidades dentro de los límites normalmente especificados para consolidar por medio de vibración interna.

Con el uso de estos aditivos se puede obtener una reducción de agua del 12 al 30%. Esta reducción en el contenido de agua y una baja relación agua-cemento permite producir concretos con:

- Resistencias últimas a compresión arriba de 700 kg/cm^2 .
- Mayores adquisiciones de resistencia a edad temprana.
- Reducir el consumo de cemento.
- Una menor penetración de ión cloruro, así como otras propiedades favorables que están asociadas con los concretos que tienen relaciones agua-cemento bajas.⁶⁰

3.2.4-2 MECANISMO DE ACCIÓN DE LOS REDUCTORES DE AGUA DE ALTO RANGO EN LOS CONCRETOS DE GRAN COMPORTAMIENTO.

Las ventajas de usar aditivos superplastificantes no solo se manifiestan a través de la mejora en la trabajabilidad, sino en la obtención de una matriz más densa, con un reducido contenido de agua, con poros de menor tamaño y cadenas de unión entre partículas uniformes, con las consecuencias de aumento de resistencia y reducción de la permeabilidad.

El problema de la trabajabilidad está dado (en un concepto general) por la tendencia de los granos de cemento a unirse, reteniendo agua y así ofrecer resistencia al corte durante la colocación y compactación.

Por ende, utilizar solamente cemento portland y agua no es posible para producir un concreto ideal. Las partículas de cemento poseen cargas eléctricas superficiales no

⁶⁰ "Diseño y Control de mezclas de Concreto". Steven H. Kosmatka y Willian C. Panarese. IMCYC, Pag. 71. Primera edición 1990.

saturadas, con una fuerte tendencia a la floculación al ser puestas en contacto con un líquido como el agua.

Las sustancias que funcionan como reductores de agua, pueden ejercer influencia en la velocidad de hidratación de los compuestos del cemento portland, su principal efecto más bien es de carácter físico-químico al actuar sobre los granos de cemento recién mezclados con el agua. Normalmente se considera que al ser absorbidas las moléculas del aditivo en la superficie de los granos de cemento, se genera un efecto de repulsión debido a la carga negativa que adquieren evitando su floculación; a este efecto dispersor se suma frecuentemente una disminución de la tensión superficial del agua que da lugar a una película de acción lubricante alrededor de los granos, con todo lo cual la mezcla de cemento y agua cambia de comportamiento reológico, aumentando significativamente su fluidez.

Es importante resaltar que, debido al empleo de superplastificantes y a la drástica reducción del contenido de agua, se produce una reducción de la distancia entre las partículas de cemento, y por ende, tenemos en los Concretos de Gran Comportamiento una matriz más densa que en los concretos de resistencia normal (ver figura 3.1). Esto trae consigo un significativo incremento de la resistencia a compresión y siendo el agua que excede (es decir, que no se ha combinado física y químicamente con el cemento) es eliminada por secado a través de conductos que forman la estructura de poros del concreto. Los Concretos de Gran Comportamiento son concretos de baja porosidad y para comprender la importancia que tiene la reducción del contenido de agua a través del uso de los superfluidificantes, los profesores Pierre Aitcin y Adan Neville⁶¹ aclaran sobre el hecho que si bien en los Concretos de Gran Comportamiento una porción significativa de las partículas del cemento permanece sin hidratarse, en términos generales la resistencia de concreto es una función del total de vacíos contenidos en el concreto, considerando que las relaciones

⁶¹ "Consideraciones Sobre el Uso de Superfluidificantes en Hormigones de Alta Performance Para la Industria del Hormigón Elaborado", Fotio Buchas y Juan Buchas, Revista Cemento Hormigón, No. 749, Septiembre 1995, Pag.1134.

de adherencia y cohesión entre partículas son suficientemente fuertes; siendo el grado de hidratación del cemento como tal no tan importante.

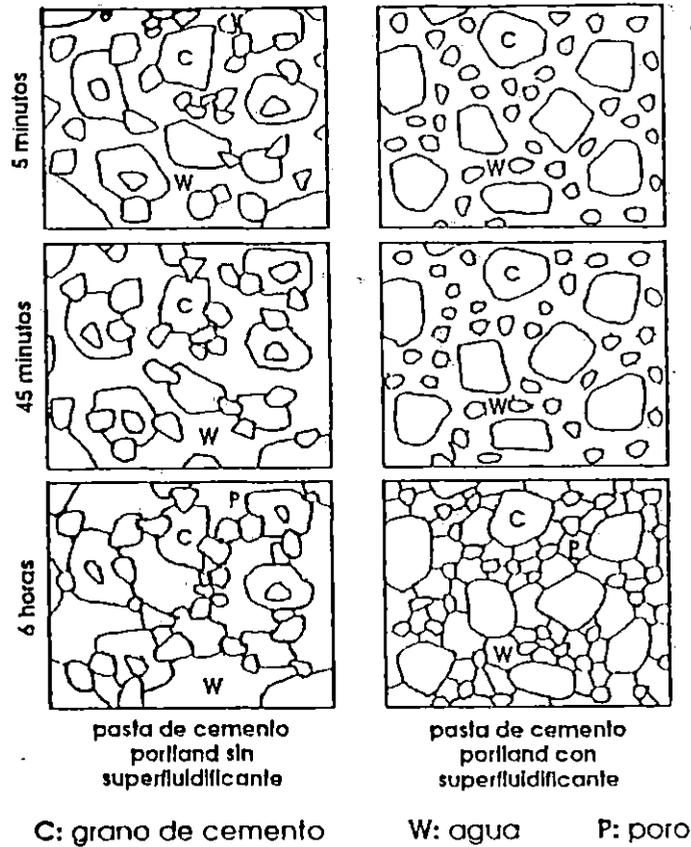


Figura 3.1 Acción de los Superfluidificantes en los Concretos de Gran Comportamiento. (62)

La reología de los Concretos de Gran Comportamiento esta influenciada a la vez por dos fenómenos si se quiere contrapuestos. Por una parte, la velocidad por la cual los diferentes componentes del cemento fijan las moléculas de agua. Y por otro lado, por la velocidad con la que las moléculas de superfluidificante son fijadas por los nuevos compuestos que se forman en los primeros instantes luego que el agua ha comenzado a hidratar al cemento.

⁶² Consideraciones sobre el uso de superfluidificantes en HAP (Hormigones de Alta Performance) para la Industria del Hormigón. Elaborado, Fotio Buchas y Juan Buchas. Revista Técnica "Cemento Hormigón". No. 749, septiembre de 1995, pag. 1133.

Es un criterio bastante generalizado entre las tecnologías del concreto que las moléculas de superfluidificantes se absorben a los silicatos bicálcico y tricálcico para controlar, en cierta forma, retardar la hidratación.

Hay dos conceptos muy importantes que deben ser definidos con claridad:

- El primero es la reactividad reológica de un cemento, que es la rapidez con la que las partículas de cemento consumen el agua en los primeros instantes que siguen al mezclado. Es importante aclarar que, al parecer, una cierta cantidad de moléculas de aditivo son consumidas durante la reacción de hidratación.

- El segundo concepto está relacionado justamente a la cantidad de moléculas de superplástificante consumidas en la hidratación y que se denomina compatibilidad cemento/superplástificante.

Esto implica que no todos los cementos que cumplan con las especificaciones reglamentarias tienen el mismo comportamiento reológico con un superplástificante dado cuando se trabaja con muy bajas relaciones agua/cemento. De la misma forma, no todos los superplástificantes que cumplen con las normas interactúan de la misma forma con un cemento dado.

Es muy importante decir que si bien este concepto es, en reglas generales, válido para todo tipo de aditivos, en el caso de los Concretos de Gran Comportamiento adquiere particular importancia. De acuerdo a la opinión de los profesores Aitcin y Neville, esto último se debe al hecho de que prácticamente toda la normativa sobre concretos y morteros se basa en relaciones agua/cemento de alrededor de 0.5 y, sin aditivos en estas mezclas, la importante cantidad de agua presente tiene un papel fundamental en determinar las condiciones reológicas de la pasta cementicia a través de dos aspectos:

- a) Mantener separadas las partículas de cemento.

- b) Permitir que un importante número de iones sulfato se incorporen a la solución antes de que se produzca la saturación.

Por otra parte, con el uso de superfluidificante y relaciones agua/cemento de aproximadamente 0.3 la distancia entre partículas es menor, así como también la cantidad de iones que pueden incorporarse a la solución. En estas condiciones presentes en los Concretos de Gran Comportamiento, la hidratación del cemento difiere de la forma en que se desarrolla con relaciones a/c igual a 0.5.

El empleo de aditivos reductores de agua, no constituye propiamente un medio para modificar la velocidad del proceso de hidratación del cemento, pero en determinada modalidad de uso un aditivo de esta índole permite incrementar la resistencia mecánica del concreto desde temprana edad, lo que representa un efecto equivalente al que produce un aditivo acelerante sobre el proceso de endurecimiento. En la mayoría de los superplastificantes, el efecto para elevar la trabajabilidad o para producir concretos fluidos es de corta duración, de 30 a 60 minutos, y va seguido por una pérdida muy rápida de trabajabilidad. Debido a esta pérdida de revenimiento, son utilizados también los aditivos reductores de agua de alto rango y retardantes, que ayudan a reducir los problemas de pérdida de revenimiento prolongando el tiempo de trabajabilidad del concreto.

Se observa además que inmediatamente después de la adición de un superplastificante y durante el mezclado, que la mezcla libera cantidades considerables de aire. La fluidificación se obtiene, indudablemente, en gran parte, por el hecho de la formación de pequeñas burbujas de aire. Un agente inductor de aire tiene una acción fluidificante y es muy probable que, inversamente, un aditivo de acción fluidificante sea, en mayor o menor medida, agente inductor de aire⁶³. Este efecto parece tener pocas consecuencias y se origina como resultado de la capacidad normal de liberación de aire relacionada con los aditivos fluidificantes o reductores de agua. Los contenidos típicos de aire son del 1.2 al 2.7%.

⁶³ "Aditivos y Tratamientos de Mortero y Concretos", Aditivos Clasicos, M. Venualt. Ediciones Españolas, Pg. 93.

3.2.5 ADICIONES MINERALES.

Las adiciones minerales son usadas en los Concretos de Gran Comportamiento en combinación con el cemento portland para mejorar la trabajabilidad, reducir o eliminar la segregación y el sangrado, reducir el calor de hidratación, reducir la permeabilidad, incrementar la resistencia a compresión y para mejorar la durabilidad. No todas las adiciones minerales proveerán los beneficios antes mencionados y es necesario el conocimiento de los efectos que produce cada tipo de adición mineral en el concreto en estado fresco o endurecido para seleccionarlas.

Las adiciones minerales que se utilizan a menudo para la elaboración de concretos son aquellas que se clasifican por sus propiedades físicas y químicas como:

- a) Materiales Puzolánicos
- b) Materiales Cementantes.

a) **Materiales Puzolánicos:** Una puzolana es un material silíceo o aluminosilíceo que por si mismo posee poco o ningún valor cementante pero que, en forma finamente molida y en presencia del agua reacciona químicamente con el hidróxido de calcio liberado por la hidratación del cemento portland para formar compuestos que poseen propiedades cementantes.⁶⁴

Los materiales que tienen la capacidad necesaria para cumplir con los requisitos de la definición anterior son muy numerosos y pueden clasificarse en dos grupos: El primer grupo lo componen las puzolanas naturales (crudas ó calcinadas), como las tierras diatomáceas, cenizas, arcillas, pizarras, tobas volcánicas y piedra pómez. Estos materiales se clasifican según la norma ASTM 618 como puzalanas Clase N. El segundo grupo lo componen las

⁶⁴ Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Steven H. Kosmata y William C. Panarese, Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. 1994, pag. 72 y 73.

puzolanas artificiales (subproductos industriales), como las cenizas volantes (fly ash) y el humo de sílice (microsílica).

b) Materiales Cementantes: los materiales cementantes son sustancias que por si solas tienen propiedades hidráulicas cementantes (fraguan y endurecen en presencia de agua). Los materiales cementantes incluyen a la escoria granulada de alto horno molida, al cemento natural, la cal hidráulica hidratada y las combinaciones de éstos y de otros materiales.⁶⁵

Dentro de esta clasificación las adiciones minerales que comúnmente se utilizan en los Concretos de Gran Comportamiento son las puzolanas artificiales como la ceniza volante y la microsíllica y dentro de los materiales cementantes la escoria granulada de alto horno molida. Sin embargo el uso de la microsíllica en los Concretos de Gran Comportamiento se ha incrementado porque permite producir concretos con resistencias altas, de baja permeabilidad y químicamente resistentes, debido a su extrema finura y alto contenido de dióxido de silicio que lo hace un material puzolánico altamente más efectivo que la ceniza volante y la escoria de alto horno molida.

3.2.5-1 ESCORIA GRANULADA DE ALTO HORNO.

La escoria granulada de alto horno molida fabricada a partir de la escoria de alto horno de hierro, es un producto no metálico que consiste principalmente de silicatos y aluminosilicatos de calcio y de otras bases que se desarrollan en la fundición simultáneamente con el hierro en altos hornos. La especificación ASTM C 989 clasifica a la escoria según su reactividad con los grados 80, 100 ó 120.⁶⁶

⁶⁵ y ⁶⁶ Diseño y Control de mezclas de Concreto, Steven H. Kosmata y William C. Panarese, Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. 1994, pag. 72 y 73.

3.2.5-2 CENIZAS VOLANTES (FLY ASH).

La ceniza volante es un residuo finamente dividido que resulta de la combustión del carbón mineral pulverizado en las plantas generadoras de electricidad, esta formada por silicatos vítreos que contienen sílice alumina hierro y calcio: Otros componentes menores son el magnesio, azufre, sodio, potasio y carbono.⁶⁷

La norma ASTM C 618 considera tres diferentes clases de puzolanas:

Clase N: Puzolanas naturales crudas o calcinadas ya mencionadas anteriormente.

Clase F: Cenizas volantes que solo tienen propiedades puzolánicas. Normalmente provienen de la combustión de carbón bituminoso o de antracita y poseen bajo contenido de calcio (menos del 10%).

Clase C: Cenizas volantes que tienen algunas propiedades cementantes, además de las puzolánicas. Normalmente provienen de la combustión de carbón sub-bituminoso o de lignito y su contenido de calcio es alto (a veces de 10 a 30%).

De estos tres tipos de puzolanas las cenizas volantes clase F y clase C se prefieren en la producción de Concretos de Gran Comportamiento por tener una menor finura.

3.2.5-3 MICROSÍLICA.

El humo de sílice o microsíllica es un subproducto resultado de la reducción de cuarzo muy puro con carbón mineral en un horno de arco eléctrico durante la fundición de metales silíceos o de aleaciones de ferrosilíceo.⁶⁸

La microsíllica consiste de partículas esféricas muy finas con una área superficial de 20,000 m²/Kg. La distribución de tamaño de partícula de una microsíllica típica presenta que la mayoría de partículas son más pequeñas que un micrómetro (1µm), con un diámetro

⁶⁷ y ⁶⁸ Standar Practice for selecting proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete, Reported by ACI Committe 211, en ACI Manual of Concrete Practice Part. 1 - 1995 pag. 211.1 - 5.

promedio de $0.1\mu\text{m}$, lo que significa que son aproximadamente 100 veces más pequeñas que el diámetro promedio de las partículas del cemento. La gravedad específica de la microsíllica es típicamente de 2.2 pero puede tener un valor alto hasta de 2.5.⁶⁹

Debido a que por su elevadísima finura la microsíllica incrementa el requerimiento de agua y es usual contrarrestar este efecto con el uso de un aditivo reductor de agua de alto rango. La norma ASTM C 1240 especifica los requisitos para la microsíllica a ser usada en el concreto y el mortero con cemento hidráulico.

Un Concreto de Gran Comportamiento también puede formularse usando cenizas volantes o escorias de alto horno en combinación con microsíllica y aditivos reductores de agua de alto rango, dado que la microsíllica puede contribuir a ganar resistencia a edades tempranas de los concretos con cenizas volantes.⁷⁰ Si solamente se usará ceniza volante la adquisición de resistencia a edades tempranas podría ser menor.

3.2.5-4 FUNCION DE LAS ADICIONES MINERALES EN EL CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO.

La función principal de las adiciones minerales especialmente las puzolanas artificiales es que aporten su acción puzolánica y disminuyan la porosidad del concreto dando lugar a un concreto más denso y de mayor durabilidad. Debido a su finura las adiciones minerales dejan a su paso algunos efectos beneficiosos en las propiedades reológicas del concreto, ya que aumentan la cohesividad y viscosidad reduciendo la segregación y sangrado. Las partículas de las adiciones actúan como puntos de precipitación de los productos de hidratación del cemento, dando lugar a un cierre de poros y concretos más homogéneos. De esta forma se consigue reducir el tamaño de los poros de una forma más eficaz que la que se conseguiría por la simple reducción de la relación agua/cemento a que dan lugar los superplastificantes.

⁶⁹ State of the Art Report on High Strength Concrete, Reported by ACI Committe 363 en ACI Manual of Concrete Practice Part. 1 1995 Pag. 363R-5.

⁷⁰ "High Performance Concrete Production Creates New Challenge". Guy Derwiler, Revista Concrete Construction. Mayo 1992, Pag. 361.

De todas las adiciones minerales la microsilica manifiesta de una mejor manera los efectos de actividad puzolánica y refinamiento de poros en los Concretos de Gran Comportamiento.

La microsilica por su alto contenido de dióxido de silicio (SiO_2) y la gran capacidad de reacción que le aporta su gran área superficial, reacciona con el hidróxido de calcio desprendido de la hidratación del cemento produciendo mayor cantidad de gel de silicato de calcio que es el aglutinante que pega los agregados del concreto, reduciendo de este modo el contenido indeseable de hidróxido de calcio que no presta ningún beneficio aglutinante si no que puede hacer al concreto más susceptible a ataques de sulfatos y álcalis. El efecto neto resultante será un concreto mayormente cohesionado, es decir con un importante aumento en todas las resistencias y de mayor durabilidad.⁷¹

La microsilica por su mayor contenido de dióxido de silicio (SiO_2 entre 30 y 90%) y un diámetro de partícula mucho menor (0.1μ) es realmente una superpuzolana que puede reaccionar más completa y rápidamente con el hidróxido de calcio libre que las cenizas volantes, dado que éstas tienen menor contenido de dióxido de silicio (SiO_2 entre 30 y 60%) y sus partículas son de mayor diámetro ($20\mu\text{m}$).⁷²

El refinamiento de poros (microrelleno) del concreto es otro efecto de la microsilica porque cuando se paraliza su reactividad al consumirse el total del hidróxido de calcio libre, la parte de microsilica que queda inerte en el seno de la masa del concreto produce una disminución de la porosidad debido a la extrema finura de esta que permite llenar los espacios microscópicos que existen entre las partículas de cemento, especialmente los poros de mayor tamaño mejorando la densidad de la matriz del concreto y la adherencia entre la pasta de cemento hidratada y los agregados.

⁷¹ y ⁷² "Uso de la Microsilica en el Concreto", Prieto Mendez Edgar, Memorias técnicas tomo 4, tercera reunión del concreto Colombia 1993 pag. 23, 24 y 25.

3.3 PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO.

El proporcionamiento de mezclas de Concreto de Gran Comportamiento es un proceso más crítico que el diseño de una mezcla de concreto de resistencia normal, porque se debe cumplir estrictamente con los requisitos que las exigencias de las obras a construir imponen como el nivel de resistencia requerido, el revenimiento materiales a utilizar y otras características que conducen a un alto comportamiento del concreto en estado fresco y en estado endurecido. Esto influye en las proporciones de las mezclas de Concreto de Gran Comportamiento y muchas mezclas de prueba son a menudo requeridas para generar los datos que hagan posible identificar las proporciones óptimas de una mezcla para que cumpla técnicamente y económicamente con los requisitos especificados.

El conjunto de recomendaciones para proporcionar mezclas de concreto del comité ACI 211 son útiles para proporcionar mezclas de Concreto de Gran Comportamiento porque son un buen parámetro para preparar una primera mezcla de prueba con proporciones iniciales que conduzcan a una proporción optimizada que cumpla con las características deseadas. Algunos documentos prácticos del comité ACI 211 que pueden ser utilizados para el proporcionamiento inicial de mezclas de Concretos de Gran Comportamiento son:

- **ACI 211.1-91** Práctica para dosificar Concreto Normal, Pesado y Masivo. Esta es una nueva revisión que incluye el uso de microsilica y detalles de los efectos en las proporciones de mezclas de concreto.

- **ACI 211.2-91** Práctica para dosificar Concreto ligero Estructural.

- **ACI 211.4.-91** Guía para dosificar Concretos de Alta Resistencia con cemento portland y cenizas volantes.

El Estado del Arte de los Concretos de Alta Resistencia (Comité ACI 363), también es de utilidad para proporcionar estos tipos de concretos. Debe tomarse en cuenta sin embargo algunas consideraciones al utilizar algunos métodos de dosificación tradicionales (como ACI 211.1), debido a que estos han sido desarrollados para relaciones de agua/cemento entre 0.4 y 0.8, diferente a las que se utilizan en los Concretos de Gran Comportamiento que son agua/cemento ó agua/cementantes bajas.

3.3.1 CONSIDERACIONES BÁSICAS EN LA PROPORCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETOS DE GRAN COMPORTAMIENTO.

3.3.1-1 RELACIÓN AGUA/CEMENTO O RELACIÓN AGUA/CEMENTANTES.

La resistencia a la compresión esta relacionada inversamente a la relación agua/cemento, cuanto menor sea ésta, mayor será la resistencia, siempre que el agua añadida a la mezcla sea suficiente para hidratar convenientemente el cemento. El valor necesario para completar una correcta hidratación del cemento teóricamente se sitúa entre 0.22 y 0.25. En el caso de los Concretos de Gran Comportamiento un incremento en la densidad de la matriz también incrementa la resistencia, lo que se logra utilizando adiciones minerales y la relación agua/cemento más puzolana (relación agua/cementantes (A/C+P) debe ser considerada y posiblemente el valor crítico de la relación agua/cemento para hidratar completamente el cemento puede ser superior al de hidratación completa del cemento, ya que parte del agua colabora en las reacciones puzolánicas hidratando los productos resultantes de estas, restando agua a la hidratación del cemento. Entonces el valor crítico de la relación agua/cementantes debajo de la cual no se produce aumento de resistencia e incluso se puede

producir una disminución, depende entre otros factores, del tipo y de la cantidad de adición presente en la mezcla.

3.3.1-2 CONTENIDO DE CEMENTO.

Las cantidades de cemento en una mezcla de Concreto de Gran Comportamiento se determina mejor por la elaboración de mezclas de pruebas. Comúnmente los contenidos de cemento típicos en Concretos de Gran Comportamiento están en el rango de 392 y 557 Kg/m³. Para un arreglo de materiales en una mezcla de concreto, existe un contenido óptimo de cemento que produce la máxima resistencia del concreto. La máxima resistencia no siempre puede ser incrementada aumentando los contenidos de cemento más allá del contenido óptimo de cemento. Una consideración primordial en establecer el contenido de cemento deseado será la identificación de la combinación de materiales, los cuales producen las resistencias óptimas, igualmente la evaluación de cada fuente potencial de cemento, aditivos químicos, adiciones minerales y agregados, en la variación de las mezclas de prueba indicarán el contenido óptimo de cemento y la combinación óptima de materiales.

3.3.1-3 PROPORCIÓN DE AGREGADOS.

Los bajos contenidos de arena con altos contenidos de grava dan como resultado una reducción en la pasta de cemento, y sin embargo hacen posible obtener altas resistencias para una cantidad dada de materiales cementantes, pero si la proporción de arena es demasiado baja se tendrían problemas serios en la trabajabilidad.

La cantidad óptima y tamaño de la grava para una arena dada dependerá en gran parte de las características de las arenas. Más particularmente del modulo de finura (MF) de la arena. A causa del alto porcentaje de material cementante en los Concretos de Gran Comportamiento es necesario y permisible un incremento en el contenido de la grava por

encima de los valores recomendados en las especificaciones para concretos de resistencia normal (Tabla 6.3.6 de ACI 211.1-91, volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.). Haciendo esto se aumenta su módulo de elasticidad, se reduce la retracción disminuye la pasta y aumenta su resistencia.

3.3.1-4 PROPORCIÓN DE ADITIVOS.

- **Aditivos Puzolánicos:** Estos son utilizados a menudo como reemplazo o adición de la cantidad de cemento en los Concretos de Gran Comportamiento. Cuando se proporcionan adiciones minerales como microsilica, cenizas volantes o escoria de alto horno un número de factores deben ser considerados, estos incluyen:
 - a) Actividad química de las adiciones minerales y sus efectos en la resistencia del concreto en varias edades.
 - b) Efecto en la demanda de agua necesaria para la trabajabilidad y colocación.
 - c) Densidad (o gravedad específica) de las adiciones minerales y su efecto en el volumen del concreto producido en la batchada.
 - d) Efecto en la dosis de aditivos químicos usadas en la mezcla.
 - e) Cantidad de adiciones minerales y cemento necesario para cumplir los requisitos de un concreto en particular.

La proporción de las adiciones minerales en el concreto deben ser basadas en el porcentaje por peso del contenido de cemento en los siguientes rangos:

- Microsilica 5 a 15%
- Ceniza Volante clase F 15 a 25%
- Ceniza Volante clase C 15 a 35%
- Escoria de alto horno 25 a 70%

- **Aditivos Superplastificantes:** En los Concretos de Gran Comportamiento estos son usados para disminuir la relación agua/cemento ó agua/cementantes, aumentando la resistencia y el revenimiento. La dosificación de estos aditivos Superplastificantes (tipo F y G) permiten reducir el agua aproximadamente de 12% a 30%. En este tipo de concretos se utilizan dosificaciones altas de superplastificantes entre 2 y 3% en peso del cemento, representando grandes cantidades por lo tanto su contenido de agua deberá ser tomado en cuenta en la relación agua/cemento (a/c) o agua/cementantes $a/(c+p)$.

3.4 CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO EN ESTADO FRESCO.

El uso de relaciones de agua/cemento entre 0.8 y 0.4 normalmente conduce a concretos cuyas resistencias a compresión a 28 días de edad oscilan entre 150 y 450 kg./cm² aproximadamente, de manera que este fué durante mucho tiempo el intervalo dentro del cual se eligieron las resistencias para proyectar las estructuras de concreto. Sin embargo, con el desarrollo de nuevas aplicaciones estructurales y diferentes técnicas de construcción, fue necesario considerar el uso de resistencias fuera de este intervalo, particularmente hacia arriba. Es decir con esta demanda se planteó la necesidad de poder elaborar mezclas de concreto con relaciones A/C sustancialmente menores de 0.4 que fueran fáciles de trabajar en condiciones ordinarias. Esto fué posible mediante el uso de aditivos capaces de modificar los coeficientes reológicos de las pastas de cemento, a manera de hacerlas más fluidas. También el hecho de trabajar con relaciones A/C altas o trabajar con relaciones A/C bajas pero con el uso de aditivos superplastificantes sin el inconveniente de la segregación y el excesivo sangrado de las mezclas de concreto condujo al uso de adiciones minerales como las puzolanas por el efecto útil que éstas ejercen sobre la cohesión y la manejabilidad del concreto en estado fresco, debido a que por su baja gravedad específica aumentan el volumen aparente de sólidos en la pasta de cemento y con ello incrementan los coeficientes reológicos de la pasta que tienen deficiencia en éste aspecto. Aunque esto es beneficioso, las puzolanas en los Concretos de Gran Comportamiento se utilizan sobre todo para que aporten su acción puzolánica y den mayor densidad a la matriz del concreto para obtener alta resistencia mecánica y gran durabilidad, convirtiéndose de este modo la relación A/C en una relación Agua/cementantes $[A/(C+P)]$.

3.4.1 PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO

Los Concretos de Gran Comportamiento serían concretos de bajo revenimiento o de revenimiento nulo si no se usarán los aditivos reductores de agua de alto rango. Dado que en estos concretos mantener las relaciones agua/cemento ó agua/cementante bajas es la clave para asegurar la resistencia y durabilidad requerida, el revenimiento debe ser controlado por el ajuste de la dosificación de aditivo reductor de agua de alto rango o superplastificante.

Las adiciones minerales especialmente la microsílca podría ser necesaria en los Concretos de Gran Comportamiento y como ésta incrementa la demanda de agua, la dosis de los aditivos superplastificantes dependerá además de la cantidad de cemento, de los porcentajes de microsílca y tipo de superplastificante usados.

Los aditivos Superplastificantes y la microsílca se complementan mutuamente porque con un aditivo superplastificante se puede lograr un aumento de fluidez del concreto, para lo cual resulta útil el empleo de una puzolana de muy alta finura como la microsílca para evitar la segregación por el aumento de fluidez; y el uso de la microsílca requiere un aditivo superplastificante para compensar el incremento de agua demandada por ésta.

Bajo este contexto la reología de los Concretos de Gran Comportamiento debe ser estudiada considerando el uso de aditivos químicos y adiciones minerales dado que es imposible obtener concretos trabajables con relaciones de agua/cemento o agua/cementantes bajas.

3.4.1-1 TRABAJABILIDAD.

La ceniza volante y escorias de alto horno generalmente mejora la trabajabilidad de los concretos de igual resistencia y revenimiento porque casi siempre requieren menor agua. La

microsilica por el contrario hace al concreto más cohesivo y podría reducir la trabajabilidad por eso normalmente se agregan aditivos reductores de agua de alto rango para mejorar la trabajabilidad del concreto conteniendo microsilica, logrando un aumento transitorio de fluidez, asemejándose en este caso un Concreto de Gran Comportamiento a un concreto fluido, donde para medir la consistencia debe hacerse notar que la prueba de revenimiento con el cono de Abrams (ASTM C-143) no la representa convenientemente, pues los revenimientos obtenidos pueden ser mayores de 19 cm y existen dudas acerca de la aptitud de esta prueba para evaluar adecuadamente consistencias tan fluidas, lo mismo sucede si se trabaja con concretos secos ya que la prueba no es sensitiva a bajos revenimientos. Sin embargo se han propuesto otros procedimientos como la tabla de sacudidas que mide la extensibilidad y el cono de revenimiento en miniatura que evalúa la fluidez de la pasta de cemento (norma Alemana DIN 1048) y para mezclas ásperas y extremadamente secas la prueba con el aparato Vebe. Pero es pertinente que, tratándose de mezclas muy fluidas el asentamiento de la masa de concreto se convierte prácticamente en un colapso al hacer la prueba estándar de revenimiento (ASTM C 143). Este colapso no indica que el concreto pierda la calidad potencial, si la fluidez se ha logrado por medio del uso de un aditivo reductor de agua de alto rango.

En la figura 3.2 se indica esquemáticamente la forma que debe adoptar la mezcla de concreto colapsada, para que su revenimiento sea de 20 y 25 cm; como ahí se observa, la mezcla debe deslizar lo suficiente para que su diámetro original se amplíe entre dos y tres veces, y esto por el solo efecto de la poca energía potencial de la masa de concreto, que se convierte a cinética al retirar el apoyo que le suministra el molde.

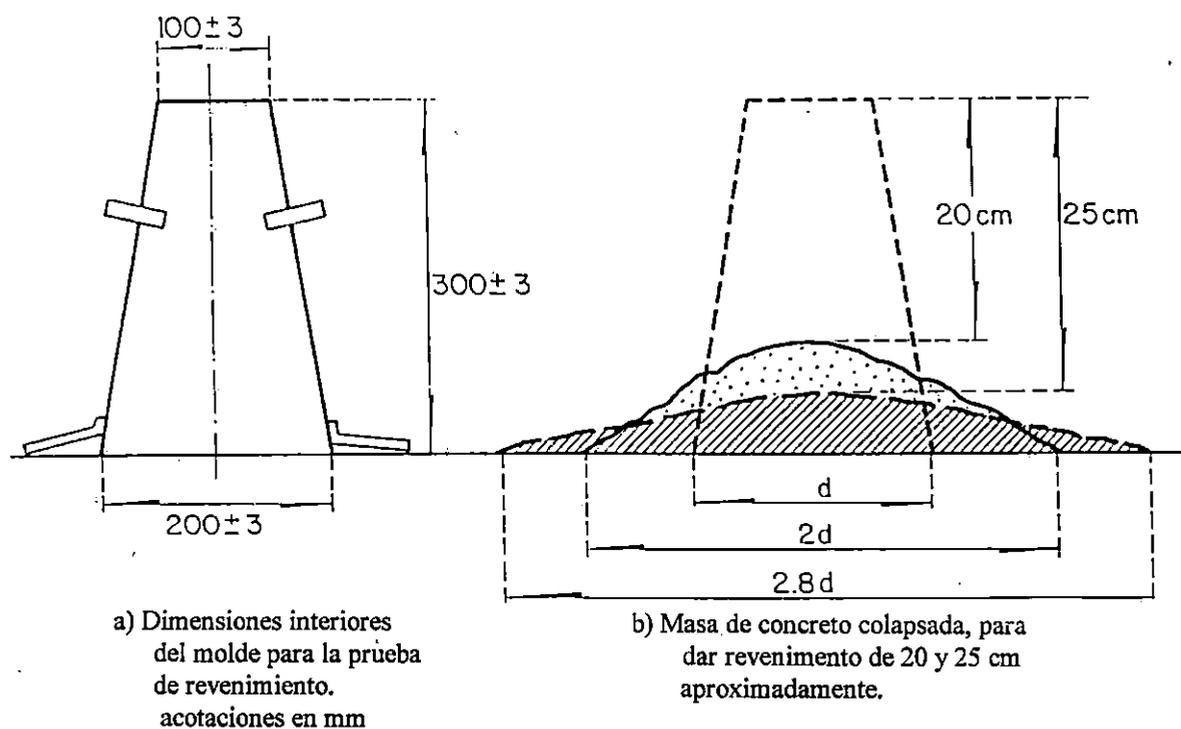


Fig. 3. 2 Representación esquemática de la prueba de revenimiento en mezclas de concreto fluido⁷³.

Esta circunstancia introduce nuevas variables en la prueba de revenimiento con las mezclas muy fluidas (como la fricción con la superficie de apoyo, por ejemplo) por lo cual sus resultados no siempre tienen la misma precisión y reproducibilidad que con las mezclas de consistencia plástica. Debido a ello, suele considerarse que la aplicación de la prueba de revenimiento debe limitarse a un intervalo comprendido entre 4 y 18 cm aproximadamente, aún cuando también hay opiniones en el sentido de que el límite superior de este intervalo pueda estar entre 22 y 25 cm.⁷⁴

3.4.1-2 SEGREGACIÓN Y SANGRADO.

Los concretos en los que se emplea ceniza volante o microsilica generalmente son más cohesivos y con menor tendencia a la segregación y sangrado que los concretos sin estas

⁷³ y ⁷⁴ Manual de Tecnología del Concreto, Tomo II, Instituto de Ingeniería UNAN, 1994, pag. 63 y 64 respectivamente.

adiciones. La segregación normalmente no ocurre en un concreto que contienen reductores de agua de alto rango cuando son usados como reductores de agua, pero si son usados para producir alta fluidez, la segregación podría ocurrir si no se toma las debidas precauciones.⁷⁵

3.4.1-3 RETRACCIÓN PLÁSTICA.

Al eliminar la segregación y el sangrado por medio del uso de cenizas volantes ó microsílca en el concreto se dispone de poca o nula agua de sangrado en la superficie del concreto para evaporación; se podrían llegar a desarrollar agrietamientos plásticos en los días de colado cálidos y con viento, si no se han tomado precauciones especiales, esto hace necesario el curado inmediatamente después del acabado de los concretos con estas adiciones.⁷⁶

3.4.1-4 CALOR DE HIDRATACION.

El uso de ceniza volante y de escorias de alto horno reducen la cantidad de calor que se forma en una estructura de concreto debido a su menor calor de hidratación. La microsílca puede o no reducir el calor de hidratación; sin embargo, este se eleva con la presencia de aditivos superplastificantes cuando estos se usan al reducir el contenido de agua. Se puede afirmar que el concreto con microsílca tiene un calor de hidratación superior al que se obtiene cuando se utiliza como adición las cenizas volantes.

⁷⁵ Guide the use of High-Range Water-Reducing Admixtures (Superplasticizers) in Concrete, reported by ACI committee 212 en ACI Manual of Concrete Practice Part. 1-1995 pag. 212R-4.

⁷⁶ "Estudio de Concreto con Alta Resistencia a la Agresión Provocada por la Contaminación del Medio Ambiente 2° Parte. Santos Fernando Alberto y otros. Tesis UES agosto 1995. Pag. 70.

3.4.2 MEZCLADO, TRANSPORTE, COLOCACIÓN Y CURADO.

El mezclado, transporte, colocación y curado en el Concreto de Gran Comportamiento es similar al del concreto convencional, pero como estos concretos son menos tolerantes a los errores o malos procedimientos es necesario mantener un estricto control en el cumplimiento de las normas referentes a la fabricación, manejo y curado de estos concretos.

3.4.2-1 MEZCLADO.

Comúnmente el Concreto de Gran Comportamiento es producido en plantas de premezclado, camiones mezcladores o combinación de ambos, las pruebas y normas indican que el Concreto de Gran Comportamiento puede ser mezclado en todo tipo de mezcladores⁷⁷, aunque la mezcla de este tipo de concretos puede ocasionar problemas si no se tiene un cuidado especial en la colocación de los componentes de la mezcla. Lo más importante es que el agua se integre completamente con las partículas de cemento y las adiciones para lograr una hidratación completa y una mejora en las propiedades del concreto.

Un aspecto importante es el tiempo de mezclado, este debe medirse desde el momento en que el cemento y los agregados se encuentran en la tolva y que el agua haya sido agregada en un cuarto del tiempo total de mezclado. Un tiempo prolongado de mezclado puede producir en la mezcla pérdida de revenimiento y trabajabilidad. Según la ASTM C-94, el tiempo máximo entre el mezclado y la colocación del concreto no debe exceder 1½ horas pero con el uso de aditivos fluidificantes y retardantes el tiempo entre la entrega y colocación se puede extender un poco más.

⁷⁷ ACI 363 "High Strength Concrete". ACI, USA, 1995 Pag. 363R - 16

Los mezcladores de alta energía son actualmente uno de los mejores mecanismos para la mezcla del concreto, los componentes de la mezcla son revueltos a altas velocidades, ayudando a obtener un mezclado muy homogéneo con un uso más eficiente del cemento y proporcionando una mayor resistencia al concreto en comparación con otro tipo de mezcladoras.

3.4.2-2 TRANSPORTE.

El Concreto de Gran Comportamiento puede ser transportado mediante una variedad de equipos como camiones mezcladores, camiones agitadores y camiones de carga. Los métodos de descarga también están considerados dentro del transporte y entre estos se encuentran las fajas o bandas transportadoras, las bombas y las grúas.

Cada tipo de transporte tiene sus ventajas y desventajas que dependen del tipo de mezcla, de la accesibilidad al lugar del colado, de la capacidad requerida y de las condiciones del tiempo.

Los camiones mezcladores se usan cuando los materiales se dosifican en la planta y se mezclan camino a la obra, este método es eficiente cuando hay trayectos largos, pero la capacidad de estos camiones es pequeña en comparación con los camiones agitadores que pueden transportar considerables volúmenes de concreto previamente mezclado en planta y revolverlo lentamente para evitar la segregación y rigidización de la mezcla. En cuanto a los camiones de carga estos consisten en volquetas o contenedores abiertos y su empleo se reduce a trayectos muy cortos, debido a que causan segregación en la mezcla de concreto.

Aunque el Concreto de Gran Comportamiento tiene altos contenidos de cemento y bajas relaciones agua-cemento son los superplastificantes los que hacen aptos a estos concretos para ser bombeados sin problema alguno. Referente a las bandas transportadoras, estas son

efectivas en tramos cortos y su empleo ha sido establecido por el comité ACI 304R, las fajas transportan el concreto de forma suave, pero hay que considerar el ángulo de inclinación de la banda debido a que el Concreto de Gran Comportamiento es de consistencia fluida y eso puede causar segregación, pérdida de revenimiento o trabajabilidad en la mezcla, además en muchos casos según las condiciones es necesario proteger al concreto del viento, polvo, agua y temperatura, según el comité ACI 363R el uso de bandas transportadoras se restringe a distancias que oscilan entre 60 a 90 metros.

3.4.2-3 COLOCACIÓN.

Para colocar el Concreto de Gran Comportamiento deben tomarse precauciones que eviten contratiempos que pueden tener efecto en la colocación y en las propiedades del concreto. Estos concretos tienen una trabajabilidad excelente lograda a base de aditivos y su colocación es fácil, pero debe hacerse de forma rápida, si se usan bombas el equipo tiene que ser adecuado y su funcionamiento eficiente, también el personal debe estar relacionado con el uso de estos concretos ya que los retrasos o recesos en la colocación del concreto pueden causar serios daños a la calidad del trabajo.

La vibración es el método más efectivo en la consolidación del Concreto de Gran Comportamiento, según el comité ACI 309 para una perfecta consolidación hay que comenzar por el diseño de la mezcla, eligiendo un tamaño óptimo de agregados para obtener una buena trabajabilidad y consecuentemente una facilidad en la colocación y compactación del concreto.

3.4.2-4 CURADO.

Curado es el proceso de mantener satisfactoriamente el contenido de la humedad y una temperatura favorable en el concreto durante el período de hidratación de los materiales cementantes, para que las propiedades deseadas en el concreto puedan ser desarrolladas⁷⁸. El curado es un factor importante que influye en las propiedades del Concreto de Gran Comportamiento, el potencial de resistencia y durabilidad solo pueden ser desarrollados si el tipo de curado es eficiente y por un período de tiempo adecuado. El método de curado por inmersión es altamente recomendado para el Concreto de Gran Comportamiento debido a que relaciones agua-cemento abajo de 0.40 necesitan de una alta humedad para completar su hidratación, según estudios llevados a cabo por el comité ACI 363 en especímenes de concreto con relaciones agua-cemento de 0.29 elaborados con agregados húmedos y curados por inmersión alcanzaron resistencias a los 28 días de 60 a 70 Kg./cm² más que otros especímenes similares curados con cubiertas húmedas.

El comité ACI 308 habla sobre la importancia de curar al concreto por métodos de inmersión, pero cuando no sea posible lo más fácil es el curado por aspersión, tomando en cuenta que este curado tiene que ser de forma continua de lo contrario no es muy confiable, en el caso de elementos estructurales verticales lo más efectivo es usar cubiertas húmedas como tejidos de yute, algodón, mantas u otro tipo de materiales absorbentes que mantengan húmedo al concreto y eviten su deshidratación.

⁷⁸ ACI 363 "High Strength Concrete", ACI, USA, 1995, Pag. 363R - 18.

3.5 CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO EN ESTADO ENDURECIDO.

3.5.1 PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO.

Las propiedades del concreto endurecido se conocen como propiedades de larga duración, estas a su vez se dividen en:

- a) Resistencia a la Compresión y Tensión.
- b) Rígidez o Módulo de Elasticidad.
- c) Durabilidad.

3.5.1-1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

La característica fundamental que define a todo tipo de concreto es su resistencia a la compresión, en el Concreto de Gran Comportamiento se han llegado a obtener en pruebas de laboratorio resistencias a compresión hasta de 2800 Kg./cm²,⁷⁹ pero estas resistencias es poco probable requerirlas y lograrlas en campo. En el Concreto de Gran Comportamiento los beneficios de usar aditivos y adiciones se reflejan en la resistencia a compresión, según estudios en la interfase pasta-agregado la separación entre el material hidratado es de cero a 30 micras, esta densidad origina una mayor adherencia pasta agregado, una resistencia más alta y una mejor durabilidad.

La resistencia a la compresión f_c se basa en cilindros estándar de 15 x 30 cm curados en condiciones normales y probados comúnmente a edades de 28 días, a un tipo de carga especificado. Según el comité ACI 363 la edad de prueba para los especímenes de Concreto de Gran Comportamiento debe ser a los 56 y 90 días, debido a que el material

⁷⁹ "Aridos para Hormigones de Alta Resistencia. Sus Características". Eduardo Herrero N. Revista "Cemento Hormigón", Agosto 1992, No. 709, Pag. No.1140.

gana considerable resistencia a edades tardías, por lo que varios investigadores han sugerido que la especificación para resistencia a la compresión debe ser modificada del típico criterio de los 28 días a los 56 y 90 días⁸⁰.

Algo importante de citar es que la resistencia del Concreto de Gran Comportamiento ante cargas de larga duración es significativamente más baja que para cargas de corta duración, pero se ha comprobado que el comportamiento de estos concretos es más favorable a este respecto.

3.5.1-2 RESISTENCIA A LA TENSIÓN.

La resistencia a tensión del Concreto de Gran Comportamiento es relativamente baja, investigaciones llevadas a cabo por el comité ACI 363 concluyen que en este tipo de concretos se detecta una disminución importante en esta propiedad, ya que mientras el concreto normal presenta una resistencia a la tensión que varía de $0.1f_c$ a $0.2f_c$, en el Concreto de Gran Comportamiento estos valores se reducen a un $0.05f_c$. La resistencia a la tensión es más difícil de medir por los problemas de agarre en las máquinas de prueba, aunque existen varios métodos de prueba, el más usado es la prueba de ruptura o prueba brasileña.

3.5.1-3 MODULO DE ELASTICIDAD.

El conocimiento de la relación esfuerzo-deformación y el Módulo de Elasticidad tiene especial significado para los diseñadores, debido a que mediante estos parámetros se establecen procedimientos de análisis y diseño referentes a las deformaciones que sufren las estructuras ante la acción de las cargas. Aunque el concreto no es un material

⁸⁰ ACI 363 "High Strength Concrete", ACI, USA, 1995, Pag. 363R - 19.

perfectamente elástico, la teoría de la elasticidad puede ser aplicada en las etapas iniciales de carga, bajo la consideración que las deformaciones ocurridas durante la carga son recuperadas en la descarga.

El Módulo de Elasticidad del concreto (E_c) depende del Módulo de Elasticidad de la pasta de cemento, del Módulo de Elasticidad de los agregados y de la cantidad relativa de pasta y agregados presentes en el concreto. El módulo de la pasta de cemento aumenta el grado de hidratación del concreto, y depende de la relación agua-cemento, el curado y la edad. Con respecto al módulo de los agregados generalmente es mucho mayor que el de la pasta de cemento y a excepción del agregado ligero es indispensable que los agregados tengan buenas características en el peso específico, absorción, sanidad y resistencia para obtener concretos con propiedades normales de deformación.

Generalmente por su composición homogénea los agregados tienen un buen Módulo de Elasticidad a compresión y esto se observa en la gráfica esfuerzo-deformación cuya principal característica es una recta que denota proporcionalidad. Teóricamente el Módulo de Elasticidad del concreto endurecido se ve fortalecido al usar agregados con buenas características elásticas, pero esto no ocurre en su totalidad, en la gráfica esfuerzo-deformación se aprecia una falta de proporcionalidad ocasionada por los microporos y los deslizamientos internos que ocurren cuando se rebasa el 30% del esfuerzo de ruptura. Aun así la resistencia del Concreto de Gran Comportamiento es un buen indicador de un alto Módulo de Elasticidad, que aumenta en proporción a la resistencia a compresión, pero de forma un poco lenta.

3.5.1-4 DURABILIDAD.

Comúnmente los parámetros mediante los cuales se define la calidad del concreto son la resistencia a la compresión, la reología y la durabilidad. Actualmente la durabilidad es el parámetro más destacable en el concreto y una de las características más apreciadas en este material.

De forma básica la durabilidad del concreto se define como la capacidad de resistir acciones agresivas de origen físico-químico garantizando así que el concreto continúe realizando sus funciones de proyecto de forma satisfactoria durante su vida útil. Al hablar de durabilidad hay que tomar en cuenta dos aspectos, los ataques que sufre el concreto y los factores mediante los cuales se pueden evitar o reducir los ataques. Con respecto a los ataques del concreto estos fueron tratados en el capítulo II sección 2.4, por lo que en esta sección únicamente se abordan aquellos aspectos que permiten lograr durabilidad en el concreto.

Por su composición y microestructura el Concreto de Gran Comportamiento tiene como característica intrínseca la durabilidad, aunque para lograrla hay que mantener un estricto control de todos aquellos aspectos que puedan afectar las propiedades de estos concretos. Un aspecto fundamental a controlar en todo tipo de concreto es la relación agua-cemento, en el caso del Concreto de Gran Comportamiento una de sus principales características son sus bajas relaciones a/c, que permiten obtener concretos densos resistentes a la abrasión y relativamente impermeables a la penetración de agua o agentes químicos dañinos. Aunque en campo lo que más se exige al concreto al momento de su recepción y colocación es la trabajabilidad, son los aditivos fluidificantes o superfluidificantes los que permiten a concretos con bajas relaciones a/c tener una consistencia fluida que facilita la colocación sin contratiempo alguno. El uso de estos aditivos en el Concreto de Gran comportamiento ha

implicado que actualmente se les denomine como concretos fluidos reoplásticos y su uso comienza a darle más importancia al control de la relación a/c y a la reología como una forma de garantizar la trabajabilidad y la durabilidad en el concreto. Otros aspectos que incluye la reología son la estabilidad volumétrica, la segregación, exudación, compatibilidad y movilidad. Hay que mencionar que para concretos con resistencias menores de 350 Kg./cm² la reología deja de ser un parámetro importante.

Tampoco se debe pensar que los aditivos solucionan por si solos el problema de la reología en el Concreto de Gran Comportamiento, el uso de adiciones como la microsílica ayudan ampliamente, actuando como alteradores de la hidrólisis y como microrelleno, dando como resultado un concreto denso con alta capacidad de resistencia a las acciones mecánicas y a los ataques de ácidos y sulfatos.

Para garantizar la durabilidad es necesario considerar aspectos intrínsecos a la matriz del concreto como son: compatibilidad entre las adiciones, aditivos y el cemento, el tamaño, forma, calidad y granulometría de los agregados, cantidades relativas de agua, cemento y agregados así como también la temperatura de concreto.

Otros aspectos que pueden afectar la durabilidad de forma externa son: el método de diseño, forma y tiempo de mezclado, tipo de transporte, forma de colocación y compactación, método de curado y temperatura ambiente.

En la siguiente pagina se muestra un cuadro de algunas técnicas que se utilizan para obtener máxima durabilidad en el concreto.

Cuadro No. 3.3

| TÉCNICAS PARA OBTENER LA MÁXIMA DURABILIDAD DEL CONCRETO* | |
|--|---|
| Agregados | Sanos, no reactivos y resistentes a la abrasión. |
| Cemento | Con bajo contenido alcalino (menos de un 0.6% $\text{Na}_2\text{O}+\text{k}_2\text{O}$). Contenido moderado de C_3A (para ambientes marinos) Alto factor de cemento. |
| Agua | Agua potable |
| Mezcla de concreto | Relación baja agua-cemento Agregados limpios Agregados gruesos de tamaño pequeño. Agregados de alta adherencia (en donde haya exposición a la abrasión o cavitación) Limitar los cloruros de cualquier fuente. |
| Aditivos | Reductores de agua de alto rango. Que no ocasionen segregación. |
| Cimbras | Con superficie lisa Sin esquinas entrantes, proyecciones, etc. Evítense las esquinas y bordes agudos. |
| Colocación | Consolidar y compactar con vibradores de alta energía. Reducir al mínimo los agujeros. |
| Recubrimiento | Recubrimiento adecuado sobre el acero Recubrimiento adecuado sobre el acero de presfuerzo. |
| Acabado | Aplanado |
| Juntas de construcción | Bien preparadas Con buena adherencia (remojado y aplicando lechada previamente, o un compuesto epóxico). |
| Curado | Curar adecuadamente con agua o con vapor. Suministrar humedad durante el período de enfriamiento. Secar el concreto después del curado (en los ambientes marinos y en donde haya congelación y deshielo). Agua libre de cloruros o sulfuros. |
| Refuerzo de acero | Libre de picaduras. Distribuir bien las varillas Evítense el uso de varillas muy grandes. |
| Metales ahogados en el concreto | Evítense la acción galvánica, especialmente con el cobre y el aluminio. Los ductos deben limpiarse completamente y enjuagarse con agua simple o agua que contenga un inhibidor. |

Continuación del cuadro 3.3

| | |
|--------------------------------|--|
| Acero de presfuerzo | Libre de picadura y óxido en la superficie. Limpio y seco, sin sal. Galvanizado o recubierto con material epóxico (solamente en casos especiales y sin lastimar el recubrimiento). Manténgase libre de corrosión hasta que se proteja finalmente, usando: a) polvo vpi, b) grasas, c) sellado, d) tiempo limitado de exposición. Aplicar un alto grado de presfuerzo. |
| Anclajes | Los anclajes "a paño", con las anclas propiamente dichas colocadas dentro de huecos, están mejor protegidos. El concreto epóxico es el mejor material. |
| Relleno con lechada de cemento | Siganse las mejores prácticas para el relleno. |
| Recubrimiento | Bituminosos Epóxicos Cubiertas metálicas (en casos especiales solamente, P.ej. en caso de ataques químicos) Protección con madera. |

*Tomado de " Construcción de Estructuras de Concreto Presforzado" Ben c. Gerwik Jr. México 1986, Pag. 115.

CAPITULO IV

"DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO Y PRUEBAS DE LABORATORIO"

4.1 INTRODUCCIÓN

El diseño de mezclas en el Concreto de Gran Comportamiento, es un factor muy importante. El objetivo de diseñar una mezcla es buscar la combinación óptima desde el punto de vista técnico y económico de los componentes del concreto, para que este satisfaga los requisitos deseados en estado fresco y endurecido, según las condiciones particulares de uso.

Para integrar los conceptos de economía, trabajabilidad, resistencia y durabilidad no basta un buen proporcionamiento, también es importante la calidad de los materiales y su elección debe hacerse en base a las condiciones de exposición, a la forma y tamaño de los elementos estructurales, y en base a pruebas de laboratorio que certifiquen la calidad de estos.

En este capítulo se describen las pruebas efectuadas a los componentes del Concreto de Gran Comportamiento, con el objeto de determinar si sus características los hacen adecuados para ser usados en este tipo de concretos. Básicamente el texto consta de cuatro apartados, en el primero de los cuales se describe el trabajo experimental, en el segundo numeral se detallan las pruebas a los agregados, al cemento y aditivos, luego se describe el proceso de diseño de mezclas usado en la investigación y por último se hace referencia a las pruebas realizadas al concreto en estado fresco y endurecido respectivamente.

4.2 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.

El trabajo experimental consistió en elaborar seis mezclas de concreto con relaciones de A/C y A/(C+P) de 0.3, para determinar la consistencia y los niveles de resistencia a compresión y durabilidad que pueden alcanzarse con los materiales utilizados. Previo a las bachadas de prueba se estudiaron las características físicas de los componentes del concreto por medio de pruebas y ensayos de laboratorio para aceptar su uso y obtener los datos necesarios para el diseño de mezclas elaboradas. Las mezclas se proporcionaron según el método ACI 211.1-91 para las bachadas de prueba iniciales, hasta obtener una adecuada combinación de los componentes. El mezclado se realizó en una concretera con capacidad de una bolsa de cemento. Se estudió el revenimiento y temperatura del concreto en estado fresco y en estado endurecido se investigó la resistencia a la compresión en cilindros de 15 x 30 cms, curados en agua a la edad de 7, 28, 56 y 90 días, la resistencia a la tensión indirecta se determinó a los 56 días. También se investigó la durabilidad del concreto estimada por medio de la agresión química de ácidos y sulfatos en cilindros de 10 x 20 cms curados en agua a la edad de 56 días.

Los materiales utilizados en las mezclas de concreto fueron:

- 1- Cemento: CESSA 5000 (tipo I ASTM C-150).
- 2- Aditivos: Reductores de Agua de Alto Rango (Edecon Power Mix 100 Tipo "F" y Edecon SlumpMix C tipo "G".)
- 3- Adiciones Minerales: Microsilica (Edecon Megamix P)
- 4- Agregados Gruesos:
Grava de 3/4" (19 mm) ASTM tamaño No. 6, procedencia: la Cantera, San Diego, Depto. de la Libertad.

Grava de 1/2" (12.5 mm) ASTM Tamaño No. 7, procedencia: la Cantera, San Diego, Depto. de la Libertad.

5- Agregado Fino: Arena del río Jiboa, M.F.=2.65, procedencia: Depto. de la Paz.

Las características de cada mezcla según los componentes utilizados son las siguientes:

Mezclas denominadas A, B, C. son mezclas con grava de 3/4" (19 mm)

Mezclas denominadas D, E, F. son mezclas con grava de 1/2" (12.5 mm)

- Las mezclas A y D son mezclas de referencia que sólo contienen cemento, agua, grava y arena.
- Las mezclas B y E son mezclas con aditivos Reductores de agua de alto rango y los demás componentes del concreto.
- Las mezclas C y F son mezclas con aditivos Reductores de Agua de Alto Rango, Microsílica y los demás componentes del concreto.

4.3 PRUEBAS DE LABORATORIO A LOS COMPONENTES.

Es importante realizar un control de calidad en los materiales que se utilizarán en las mezclas de concreto como lo son los agregados finos y gruesos, cemento aditivos y adiciones, para ello se realizan métodos de prueba especificadas por las normas ASTM.

| PRUEBAS A LOS COMPONENTES | NORMAS |
|--|-------------------------|
| • IMPUREZAS ORGANICAS DEL AGREGADO FINO. | ASTM C-40 |
| • ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO Y GRUESO | ASTM C-136, C-125, C-33 |
| • GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO | ASTM C-128 |
| • PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO Y GRUESO (PVV Y PVS) | ASTM C-29 |
| • CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO Y GRUESO | ASTM C-566 |
| • GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO | ASTM C-127 |
| • RESISTENCIA AL DESGASTE ENSAYE DE MAQUINA DE LOS ANGELES. | ASTM C-131 |
| • PRUEBA PARA PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS EN AGREGADO GRUESO. | CRD 119 |
| • ESPECIFICACION ESTANDAR PARA CEMENTO PORTLAND | ASTM C-150 |
| • METODO DE PRUEBA PARA LA CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO HIDRAULICO. | ASTM C-187 |
| • METODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR EL TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRAULICO CON LA AGUJA DE VICAT. | ASTM C-191 |
| • PRACTICA PARA MEZCLADO MECANICO DE PASTAS Y MORTEROS DE CEMENTO HIDRAULICO DE CONSISTENCIA PLASTICA. | ASTM C-305 |
| • METODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CUBOS DE MORTERO DE CEMENTO HIDRAULICO. | ASTM C-109 |
| • ESPECIFICACION PARA ARENA ESTANDAR | ASTM C-778 |
| • ESPECIFICACIÓN ESTANDAR PARA ADITIVOS QUIMICOS PARA CONCRETO | ASTM C-494 |

4.3.1 AGREGADO FINO.

El agregado fino utilizado en las pruebas de laboratorio previas al diseño de mezclas de concreto, proviene del río Jiboa, ubicado en el departamento de la Paz. Esta arena fue seleccionada debido a los antecedentes que ha presentado en investigaciones realizadas anteriormente sobre Concretos de Gran Comportamiento, se ha demostrado que este agregado posee características ideales para elaborar este tipo de concreto, ya que proviene de la degradación de rocas basálticas, con partículas de forma redonda. Este agregado fino fué extraído en los comienzos de la época de invierno, por lo que las pruebas realizadas a dicho agregado pueden variar con respecto a la estación de verano, puesto que el arrastre de partículas es mayor en la época invernal.

El objetivo de realizar las pruebas de laboratorio al agregado fino, es el de obtener un control de calidad y determinar los datos necesarios para la dosificación de mezclas.

En resumen las pruebas realizadas fueron las siguientes:

- a) Selección de muestras representativas del acopio de arena, luego cuarteo de las muestras en una cuarteadora mecánica de acuerdo a especificación. (ASTM C-702).
- b) Determinación de impurezas orgánicas (ASTM C-40).
- c) Análisis Granulométrico del agregado fino (ASTM C-136), Delimitación de los límites (ASTM C-33) y Módulo de Finura (ASTM C-125).
- d) Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino (ASTM C-128).
- e) Peso Unitario del Agregado Fino (ASTM C-29).
- f) Contenido de Humedad del Agregado Fino (ASTM C-566).

4.3.1-1 IMPUREZAS ORGÁNICAS EN AGREGADO FINO PARA CONCRETO. (COLORIMETRIA) (ASTM C-40).

Este método de prueba describe el procedimiento para determinar en forma aproximada, la presencia de compuestos orgánicos perjudiciales en arenas naturales que se utilizan en la elaboración de morteros o de concretos.

Las impurezas orgánicas en los agregados finos se determinan colocando una muestra de arena en un recipiente transparente que contenga una solución de Hidróxido de Sodio (NaOH) al 3% (30 gr. de soda cáustica por litro de solución), se agita y se deja reposar durante 24 horas, luego de este tiempo se compara el color de la solución con el color de una solución estándar, si el color de la solución es más oscuro que el estándar no debe utilizarse el agregado fino para trabajos de importancia.

Para la arena que se utilizó en el diseño de las mezclas de concreto, y que procedía del río Jiboa, se le realizaron 8 colorimetrías, siguiendo el método descrito anteriormente en la cual se comparó el color de la solución de cada uno de las 8 muestras con la carta de colores No. 815 Hellige Tester de ASTM C - 40, determinándose en los 8 casos un color más claro que el color No. 1 de la carta de colores.

La carta de colores utilizada fue:

No. 815 Hellige Tester (ASTM C-40) - Hellige color plate (made in USA)

| No. | COLORES: |
|-------|-----------------------------|
| No. 1 | → Amarillo claro. |
| No. 2 | → Amarillo oscuro. |
| No. 3 | → Anaranjado (Ambar) |
| No. 4 | → Rojo claro (Rojo naranja) |
| No. 5 | → Rojo oscuro |

4.3.1-2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO (ASTM C - 136).

La granulometría es la distribución de los tamaños de la partículas de un agregado, determinándose por medio de tamices. La Granulometría y los límites del agregado fino se expresan usualmente como el porcentaje de material que pasa cada malla. La razón por la que se especifican los límites para los agregados finos es por las variaciones que pueden presentarse en las partículas del material y afectar seriamente la uniformidad del concreto, además pueden afectar las proporciones relativas de dosificación de las mezclas, así como los requerimientos de agua y cemento, trabajabilidad, capacidad de bombeo, contracción y durabilidad del concreto.

Es necesario que exista un historial de pruebas de granulometría, para contemplar la variación del material 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 lluviosa, son notables.

Para el análisis granulométrico del agregado fino se realizaron 6 pruebas, de las cuales solamente se presentan 3, que fueron las que se obtuvieron con mayor representatividad en cuanto a su granulometría y módulo de finura, en las pag. de la No. 176 a la 178 se muestran los datos y gráficas obtenidas de los ensayos.

Además se observó que el agregado fino, contenía una gran cantidad de partículas gruesas (gravas), por lo que se tamizó por la malla No. 3/8" para que cumpliera con los límites establecidos con la norma ASTM C-33, estos límites son mostrados en la siguiente página:

Límites de la norma ASTM C-33 con respecto al tamaño de las mallas.

| MALLA | % ACUMULADO | ABERTURA mm (pulg) |
|---------|-------------|------------------------|
| 3/8" | 100% | 9.5mm (0.375pulg) |
| No. 4 | 95% - 100% | 4.75mm (0.187 pulg) |
| No. 8 | 80% - 100% | 2.36mm (0.0937 pulg) |
| No. 16 | 50% - 85% | 1.18mm (0.0469 pulg) |
| No. 30 | 25% - 60% | 0.595mm (0.0234 pulg) |
| No. 50 | 10% - 30% | 0.300mm (0.0117 pulg) |
| No. 100 | 2% - 10% | 0.149mm (0.0059 pulg) |
| No. 200 | - | 0.075 mm (0.0029 pulg) |

El Módulo de Finura del agregado fino se obtiene conforme a la norma ASTM C-125 y es un índice de la finura del agregado ó sea que entre mayor es el Módulo de Finura más gruesa será la Arena. El Módulo de Finura es útil para estimar las proporciones de los agregados finos y gruesos en las mezclas del concreto.

Clasificación de las Arenas por Módulo de Finura.

| ARENA | M.F. |
|--------------|-----------|
| Muy Fina | < 2.0 |
| Fina | 2.0 - 2.3 |
| Medio Fina | 2.3 - 2.6 |
| Media | 2.6 - 2.9 |
| Medio Gruesa | 2.9 - 3.2 |
| Gruesa | 3.2 - 3.5 |
| Muy Gruesa | > 3.5 |

El cálculo del Módulo de Finura de una arena se realiza sumando los porcentajes retenidos acumulados por las mallas No. 4 a la No. 100 y dividiendo esta suma entre 100.

$$MF = (\Sigma \% \text{ Retenido Acumulado en mallas No. 4 a No.100}) / 100$$

CUADRO No. 4.1

GRANULOMETRIA DE ARENA PARA CONCRETO

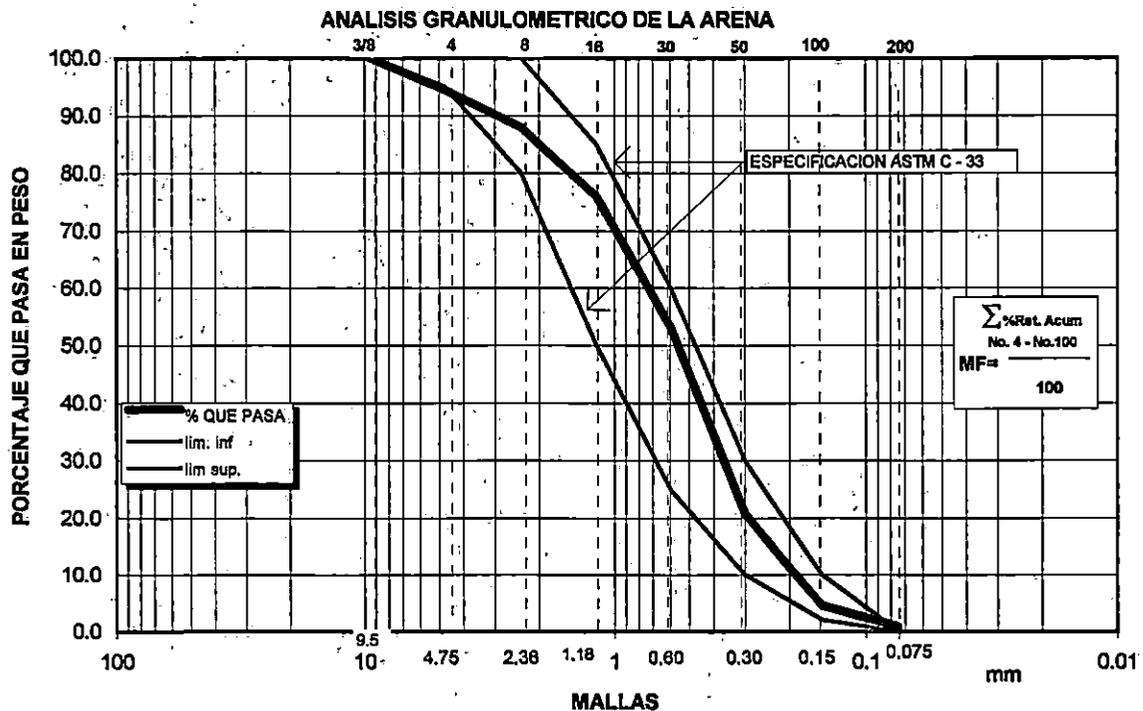
FECHA DE PRUEBA: 14/05/97
 NORMA DE PRUEBA: ASTM C-136, C- 33, C- 125
 PROCEDENCIA: RIO JIBOA

PESO DE MUESTRA INICIAL: 500 grs.
 LABORATORISTA: H.A.M.R REVISO: R.C.C.C.
 MUESTRA: No. 1

| MALLAS | U.S. | DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (mm) | PESO RETENIDO (grs.) | % DE PESO RETENIDO PARCIAL | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA MALLA |
|--------------|------|---------------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|------------------|
| 3/4" | | 19.0 | | | | |
| 1/2" | | 12.5 | | | | |
| 3/8" | | 9.50 | 0 | 0.0 | 0.0 | 100.00 |
| No. 4 | | 4.75 | 27.60 | 5.52 | 5.52 | 94.48 |
| No. 8 | | 2.36 | 32.90 | 6.58 | 12.10 | 87.90 |
| No. 16 | | 1.18 | 59.90 | 11.98 | 24.08 | 75.92 |
| No. 30 | | 0.60 | 114.08 | 22.82 | 46.90 | 53.10 |
| No. 50 | | 0.30 | 161.63 | 32.33 | 79.22 | 20.78 |
| No. 100 | | 0.15 | 81.29 | 16.26 | 95.48 | 4.52 |
| No. 200 | | 0.075 | 18.10 | 3.62 | 99.1 | 0.90 |
| PASA No. 200 | | | 4.50 | 0.90 | 100.0 | 0.00 |
| SUMAS= | | | 500 | 100.0 | 263.3 | |

MF = 2.63

ERROR = 0.07%



DIAMETRO DE LAS PARTICULAS EN MILIMETROS

| GRAVA | | ARENA | | |
|--------|------|--------|-------|------|
| GRUESA | FINA | GRUESA | MEDIA | FINA |

CUADRO No. 4.2

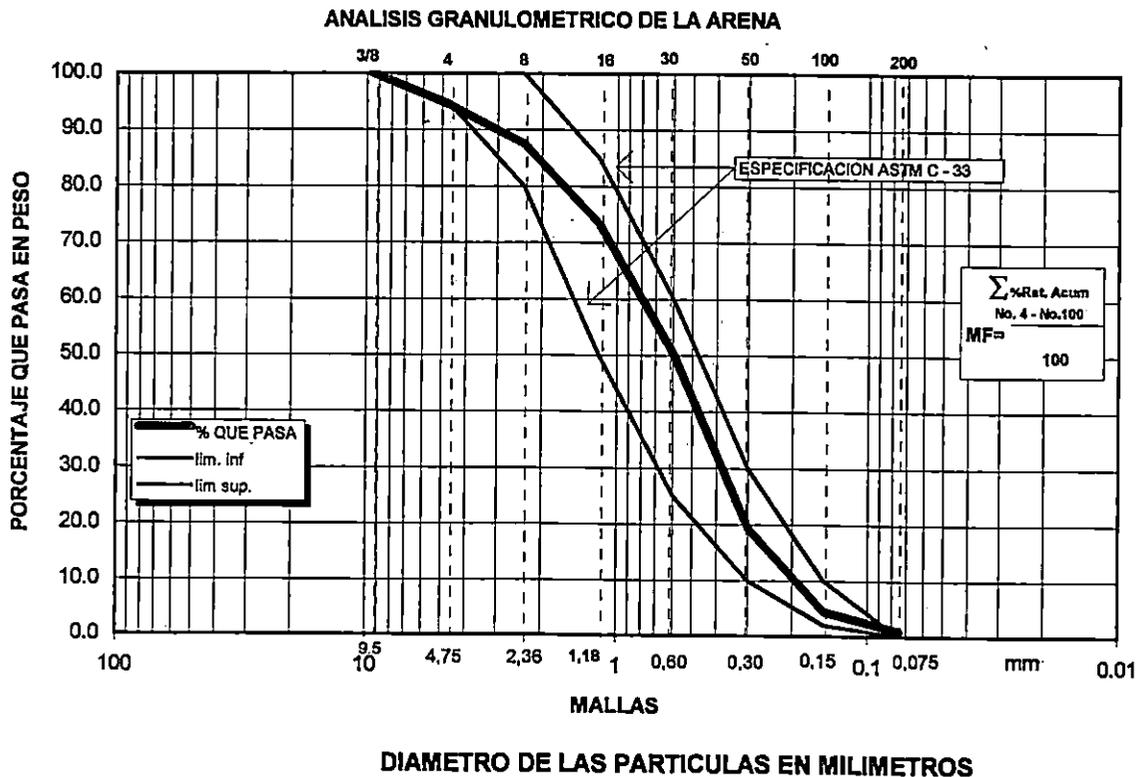
GRANULOMETRIA DE ARENA PARA CONCRETO

FECHA DE PRUEBA: 15/05/97 PESO DE MUESTRA INICIAL: 500 grs.
 NORMA DE PRUEBA: ASTM C-136, C-33, C-125 LABORATORISTA: H.A.M.R. REVISO: R.C.C.C
 PROCEDENCIA: RIO JIBOA PRUEBA No. 2

| MALLAS | U.S. | DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (mm) | PESO RETENIDO (grs.) | % DE PESO RETENIDO PARCIAL | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA MALLA |
|---------------|------|---------------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|------------------|
| 3/4" | | 19.0 | | | | |
| 1/2" | | 12.5 | | | | |
| 3/8" | | 9.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100.00 |
| No. 4 | | 4.75 | 27.10 | 5.42 | 5.42 | 94.58 |
| No. 8 | | 2.36 | 35.20 | 7.04 | 12.46 | 87.54 |
| No. 16 | | 1.18 | 70.60 | 14.12 | 26.58 | 73.42 |
| No. 30 | | 0.60 | 116.20 | 23.24 | 49.82 | 50.18 |
| No. 50 | | 0.30 | 153.60 | 30.72 | 80.54 | 19.46 |
| No. 100 | | 0.15 | 75.40 | 15.08 | 95.62 | 4.38 |
| No. 200 | | 0.075 | 17.10 | 3.42 | 99.0 | 0.96 |
| PASA No. 200 | | | 4.80 | 0.96 | 100.0 | 0.00 |
| SUMAS= | | | 500 | 100.0 | 270.4 | |

MF = 2.70

ERROR = 0.16%



| GRAVA | | ARENA | | |
|--------|------|--------|-------|------|
| GRUESA | FINA | GRUESA | MEDIA | FINA |

CUADRO No. 4.3

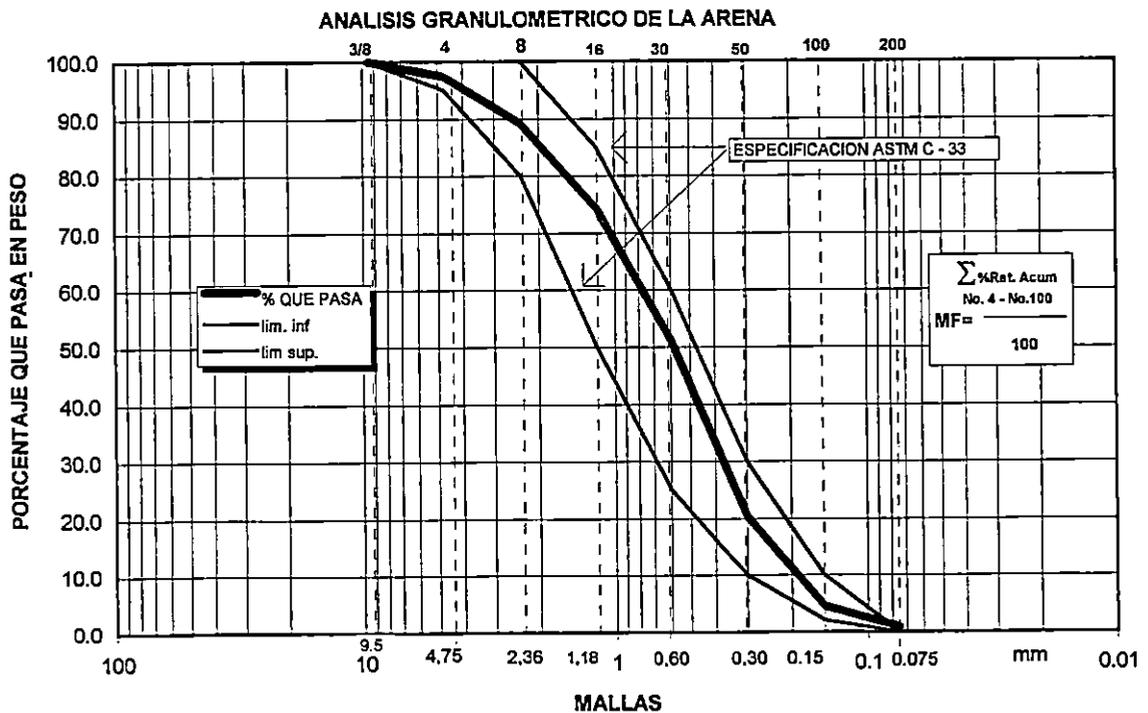
GRANULOMETRIA DE ARENA PARA CONCRETO

FECHA DE PRUEBA: 16/05/97 PESO DE MUESTRA INICIAL: 500 grs.
 NORMA DE PRUEBA: ASTM C-136, C-33, C-125 LABORATORISTA: H.A.M.R REVISO: R.C.C.C.
 PROCEDENCIA: RIO JIBOA MUESTRA: No.3

| MALLAS | U.S. | DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (mm) | PESO RETENIDO (grs.) | % DE PESO RETENIDO PARCIAL | % RETENIDO ACUMULADO | % ACUMULADO QUE PASA |
|---------------|------|---------------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|
| 3/4" | | 19.0 | | | | |
| 1/2" | | 12.5 | | | | |
| 3/8" | | 9.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100.00 |
| No. 4 | | 4.75 | 12.80 | 2.56 | 2.56 | 97.44 |
| No. 8 | | 2.36 | 41.25 | 8.25 | 10.81 | 89.19 |
| No. 16 | | 1.18 | 74.90 | 14.98 | 25.79 | 74.21 |
| No. 30 | | 0.60 | 115.65 | 23.13 | 48.92 | 51.08 |
| No. 50 | | 0.30 | 153.00 | 30.60 | 79.52 | 20.48 |
| No. 100 | | 0.15 | 79.80 | 15.96 | 95.48 | 4.52 |
| No. 200 | | 0.075 | 17.90 | 3.58 | 99.06 | 0.94 |
| PASA No. 200 | | | 4.70 | 0.94 | 100.0 | 0.00 |
| SUMAS= | | | 500 | 100.0 | 263.1 | |

MF = 2.63

ERROR = 0.2%



DIAMETRO DE LAS PARTICULAS EN MILIMETROS

| GRAVA | | ARENA | | |
|--------|------|--------|-------|------|
| GRUESA | FINA | GRUESA | MEDIA | FINA |
| | | | | |

4.3.1-3 GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS FINOS (ASTM C-128).

- **GRAVEDAD ESPECIFICA:**

La gravedad específica de un agregado es la relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua (Agua desplazada por inmersión). La gravedad específica se usa en ciertos cálculos para el proporcionamiento de mezclas de concreto, determinando los volúmenes absolutos, transformando las cantidades de cada uno de los materiales de peso a volumen y viceversa.

Para esta prueba, la gravedad específica de la arena se determinó en la condición Saturada Superficialmente Seca, ya que en esta condición el agregado no absorbe ni cede agua a la mezcla de concreto, utilizándose el método del picnómetro, con muestras de arena que fueron tamizadas por la malla de 3/8.

La gravedad específica se determina por la fórmula siguiente:

$$G.E. = B / (A + B - C)$$

donde: A= Peso de Picnómetro + Agua.

B= Peso de la Muestra en la condición SSS (Saturada Superficialmente Seca).

C= Peso de Picnómetro + Agua + Arena.

- **ABSORCIÓN:**

La absorción de un agregado es la medida de la cantidad de agua que entra en los vacíos, en el interior de sus partículas después de un período de tiempo sumergido en agua.

El objetivo de la prueba de absorción en la arena es determinar la cantidad de agua que absorbe el material de manera que se pueda controlar el contenido neto de agua en el concreto y se pueda determinar la cantidad de agua correcta en el diseño de la mezcla.

Para el cálculo de la absorción de la arena se tamizaron 7 muestras en estado natural por la malla de 3/8", luego se sumergieron en agua para saturarlas durante 24 horas, posteriormente se decantaron para extraerles el agua y llevar a las muestras a la condición Saturada Superficialmente Seca (SSS), luego de obtenida esta condición se procedió a determinar la gravedad específica, posteriormente las muestras se colocaron en el horno durante 24 horas a una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ para determinar la absorción.

La absorción se calcula por la fórmula siguiente:

$$\% \text{ Absorción} = [(P_{\text{sss}} - P_{\text{s}}) / (P_{\text{s}})] * 100$$

donde:

P_{sss} = Peso de la muestra en condición Saturada Superficialmente Seca (SSS)

P_{s} = Peso seco de la muestra obtenida en horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas.

A continuación se muestran 7 ensayos de Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino.

CUADRO No. 4.4

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE LA ARENA

| | | | |
|-------------------|------------------------------|---------|---------|
| PROCEDENCIA: | RIO JIBOA (DEPTO. DE LA PAZ) | | |
| NORMA DEL ENSAYO: | ASTM C 128 | | |
| FECHA DE PRUEBA: | 04/06/97 | | |
| LABORATORISTA: | H. A. M. R. | REVISO: | R.C.C.C |

GRAVEDAD ESPECIFICA (GE)

| PRUEBA No. | PESO DEL PICNOMETRO (gr) | PESO DEL PICNOMETRO + AGUA (A) (gr) | PESO DE LA MUESTRA SSS (B) (gr) | PESO DE PICNOMETRO + AGUA + ARENA (C) (gr) | GRAVEDAD ESPECIFICA GE=B/(A+B-C) |
|----------------------------|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|--|----------------------------------|
| 1 | 426.60 | 1480.05 | 500 | 1776.90 | 2.46 |
| 2 | 424.00 | 1471.70 | 500 | 1770.00 | 2.48 |
| 3 | 424.00 | 1471.70 | 500 | 1769.00 | 2.47 |
| 4 | 424.00 | 1471.70 | 500 | 1767.80 | 2.45 |
| 5 | 424.00 | 1471.70 | 500 | 1769.30 | 2.47 |
| 6 | 424.00 | 1471.70 | 500 | 1771.00 | 2.49 |
| 7 | 424.00 | 1471.70 | 500 | 1768.90 | 2.46 |
| PROMEDIO: G.E.=2.47 | | | | | |

OBSERVACIONES: Para esta prueba se utilizo el "Metodo del Picnometro", en la cual para el ensayo No. 1 se utilizó un Picnometro diferente al de los ensayos del No. 2 al 7.

ABSORCIÓN (%)

| PRUEBA No. | PESO SSS (P _{sss}) gr | PESO SECO + TARA (gr) | TARA (gr) | PESO SECO (P _s) gr | % DE ABSORCION = (P _{sss} -P _s)/P _s *100 |
|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------|--------------------------------|--|
| 1 | 500 | 588.70 | 106.70 | 482.00 | 3.73 |
| 2 | 500 | 579.10 | 97.90 | 481.20 | 3.91 |
| 3 | 500 | 577.00 | 102.20 | 474.80 | 5.31 |
| 4 | 500 | 574.20 | 97.20 | 477.00 | 4.82 |
| 5 | 500 | 572.60 | 97.20 | 475.40 | 5.17 |
| 6 | 500 | 605.50 | 127.40 | 478.10 | 4.58 |
| 7 | 500 | 576.20 | 98.70 | 477.50 | 4.71 |
| PROMEDIO: ABS = 4.60 % | | | | | |

OBSERVACIONES: (P_{sss}): Peso de la muestra en condicion Saturada Superficialmente Seca (sss)

4.3.1-4 PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO (ASTM C-29).

Este método es usado frecuentemente para determinar los valores del peso unitario que son necesarios para usarse en muchos métodos para seleccionar proporcionamientos de mezclas de concreto. El peso unitario (también llamado Peso Volumétrico) de un agregado es el peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. Este volumen es ocupado por los agregados y los vacíos entre las partículas del agregado, para determinar el peso volumétrico de los agregados la norma ASTM C-29 describe 3 métodos para consolidar el agregado en el recipiente especificado dependiendo del tamaño máximo de agregado: a) Método de vaciado con pala (PVS), b) Método Varillado (PVV) y c) Método por Sacudido o vaivén.

- **PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (PVS).**

Llamado así, cuando el material al iniciar la prueba no se compacta al acomodarlo en el recipiente. Es utilizado para calcular el consumo de arena en estado suelta, necesaria como materia prima para elaborar concreto, este dato normalmente sirve para el control de materiales, utilizándose la fórmula:

$$\text{PVS} = \text{Peso de Arena Suelta} / \text{Volumen de Recipiente}$$

- **PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO (PVV).**

Se nombra así, cuando al iniciar la prueba el material, se compacta al acomodarlo. Es utilizado para el cálculo de la dosificación y sus proporciones en el concreto.

Para esta investigación no se utilizaron estos datos para el proporcionamiento de las mezclas de concreto, ya que no eran necesarios pero se realizó la prueba con el fin de obtener un parámetro de comparación entre el agregado fino y grueso.

Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{PVV} = \text{Peso de Arena Compacta} / \text{Volumen de Recipiente}$$

CUADRO No. 4.5

PESO VOLUMÉTRICO SUELTO Y VARILLADO DE LA ARENA

| | |
|------------------------------|-------------------------|
| NORMA DE PRUEBA: ASTM C - 29 | FECHA: 02/06/97 |
| PRUEBAS No. 1,2 y 3. | LABORATORISTA: H.A.M.R. |
| PROCEDENCIA: RÍO JIBOA | REVISOR: R.C.C.C. |

| PRUEBA No. | PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO (PVV) | | | PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (PVS) | | |
|--|-------------------------------------|----------|----------|----------------------------------|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| PESO DE MUESTRA + RECIPIENTE (gr.) | 5900.00 | 5951.00 | 5944.00 | 5639.00 | 5614.00 | 5584.00 |
| PESO DE RECIPIENTE (gr.) | 1610.20 | 1610.20 | 1610.20 | 1610.20 | 1610.20 | 1610.20 |
| PESO DE MUESTRA (gr.) | 4289.80 | 4340.80 | 4333.80 | 4028.80 | 4003.80 | 3973.80 |
| VOLUMEN DE RECIPIENTE (cm ³) | 2703.733 | 2703.733 | 2703.733 | 2703.733 | 2703.733 | 2703.733 |
| PESO VOLUMÉTRICO (gr./cm ³) | 1.58662 | 1.60548 | 1.60289 | 1.49008 | 1.48084 | 1.46975 |
| PESO VOLUMÉTRICO (kg./mt ³) | 1586.62 | 1605.48 | 1602.89 | 1490.08 | 1480.84 | 1469.75 |
| PROMEDIO: | PVV=1598.33 Kg./m ³ | | | PVS=1480.22 Kg./m ³ | | |

OBSERVACIONES: Datos obtenidos del recipiente utilizado para obtener los pesos unitarios: Diámetro del recipiente= 15 cm ;
Altura del Recipiente= 15.30 cm ; Area= 176.71 cm² ; volumen= 2703.733 cm³.

4.3.1-5 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO (ASTM C - 566).

La mayoría de los agregados finos, específicamente los que provienen de ríos, se encuentran en condiciones húmedas, por lo que debe determinarseles la cantidad de agua, si es posible a diario (contenido de humedad), para poder realizar los ajustes necesarios al agua de diseño de las mezclas de concreto, de lo contrario pueden ocurrir variaciones en las cantidades de agua.

Para esta investigación los contenidos de humedad del agregado fino se obtuvieron de distintas muestras, extrayéndolas de varias partes del acopio de arena para mayor representatividad, además en esa condición natural sería ocupada para los diseños de mezclas.

A continuación se presentan dos de varias pruebas de contenido de humedad realizadas a la arena y cuyos valores fueron ocupados para realizar las correcciones de agua en el diseño de las mezclas de concreto.

CUADRO No. 4.6

CONTENIDO DE HUMEDAD DE ARENA

| | |
|-------------------------------|-----------------------------|
| PRUEBAS: No. 1 y 2 | FECHAS: 01/09/97 Y .5/09/97 |
| NORMA DE PRUEBA: ASTM C - 566 | LABORATORISTA: H.A.M.R. |
| PROCEDENCIA: RIO JIBOA | REVISOR: R.C.C.C. |
| PESO INICIAL: 500 grs: | |

MUESTREO No.1

| MUESTRA No. | PESO _{HUMEDO+TARA} (gr.) | PESO _{SECO+TARA} (gr.) | TARA (gr.) | CONTENIDO DE HUMEDAD (%W) |
|--|--------------------------------------|------------------------------------|---------------|------------------------------|
| 1 | 627.5 | 611.5 | 127.0 | 3.31 |
| 2 | 595.0 | 580 | 95.00 | 3.09 |
| 3 | 601.7 | 586.1 | 101.7 | 3.22 |
| Promedio de Contenido de Humedad: | | | | %W= 3.21 |

MUESTREO No.2

| MUESTRA No. | PESO _{HUMEDO+TARA} (gr.) | PESO _{SECO+TARA} (gr.) | TARA (gr.) | CONTENIDO DE HUMEDAD (%W) |
|--|--------------------------------------|------------------------------------|---------------|------------------------------|
| 1 | 662.4 | 642.9 | 162.4 | 4.06 |
| 2 | 659.8 | 639.2 | 159.8 | 4.30 |
| 3 | 591.8 | 573.5 | 91.80 | 3.80 |
| Promedio de Contenido de Humedad: | | | | %W= 4.05 |

CONTENIDO DE HUMEDAD (%W)

$$\%W = \frac{(\text{PESO}_{\text{HUMEDO+TARA}} - \text{PESO}_{\text{SECO+TARA}}) \cdot 100}{(\text{PESO}_{\text{SECO+TARA}} - \text{TARA})}$$

OBSERVACIONES: - Los muestreos realizados No. 1 y No.2 en la Arena se realizaron en estado natural, observándose que en la parte superior del acopio se encontraba seca y en la parte de enmedio y abajo se encontraba humeda.

- La arena fué taminazada por la malla de 3/8".

4.3.2 AGREGADOS GRUESOS.

Los agregados gruesos utilizados provienen del banco "La Cantera S. A." conocida como "La Cascada" ubicado en el río San Antonio en el km. 57 + 500 carretera CA-2, aproximadamente a 4 Km. del puerto de la Libertad. El yacimiento en explotación es un basalto columnar de textura granular fina y la grava obtenida es cien por ciento triturada. Se utilizaron estos agregados gruesos porque cumplen con las características necesarias para elaborar Concretos de Gran Comportamiento y estos han sido utilizados en investigaciones anteriores para tal objetivo obteniéndose buenos resultados.⁸¹

En esta investigación a diferencia de las anteriores se utilizaron en las mezclas diseñadas dos tamaños máximos de agregados, de 19 mm (3/4") y 12.7 mm (1/2"), para poder comprobar la ganancia de mayor resistencia de las mezclas con agregado de tamaño máximo más pequeño con respecto a las mezclas con el mayor tamaño máximo de agregado.

⁸¹ Estudio de Concreto con Alta Resistencia a la Agresión Provocada por la Contaminación del Medio Ambiente Parte I y II, Tesis Universidad de El Salvador, 1994 y 1995 respectivamente.

4.3.2-1 ANÁLISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS GRUESOS. (ASTM C-33).

Se efectuaron tres pruebas de granulometría para cada tamaño de grava utilizada y los límites granulométricos aplicables según la norma ASTM C-33, para la grava de 19 mm (3/4") resultó ser el tamaño de granulometría No. 6 y para la grava de 12.7 mm (1/2") el tamaño de granulometría resulto el No. 7. La grava con tamaño máximo de 19 mm (3/4") fue tamizada previamente por la malla de 3/4" de tal manera que no se tuvieran partículas mayores retenidas en esta malla con el objetivo de obtener una mayor resistencia. Mientras que la grava con tamaño máximo de 12.7 mm (1/2") se dejó con un porcentaje de partículas mayores por ser un porcentaje retenido acumulado mínimo en la malla de 1/2"

Límites según norma ASTM C - 33 No. 6 para grava de 3/4" (19 mm).

| MALLA | % ACUMULADO |
|-------|-------------|
| 1" | 100% |
| 3/4" | 90% - 100% |
| 1/2" | 20% - 55 % |
| 3/8" | 0 - 15% |
| 4 | 0 - 5% |
| 8 | - |
| 16 | - |

Límites según ASTM C - 33 No. 7 para grava de 1/2" (12.5 mm).

| MALLA | % ACUMULADO |
|-------|-------------|
| 3/4" | 100 % |
| 1/2" | 90% - 100% |
| 3/8 " | 40% - 70% |
| No. 4 | 0 - 15% |
| No. 8 | 0 - 5%. |
| - | - |
| - | - |

En el análisis granulométrico mostrado en las siguientes tablas, se observa que los agregados gruesos utilizados cumplen con los límites antes mencionados. Ambos agregados gruesos fueron lavados antes de usarse en las mezclas para eliminarles el polvo adherido.

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

CUADRO No. 4.7

GRANULOMETRIA DE GRAVA 3/4" PARA CONCRETO

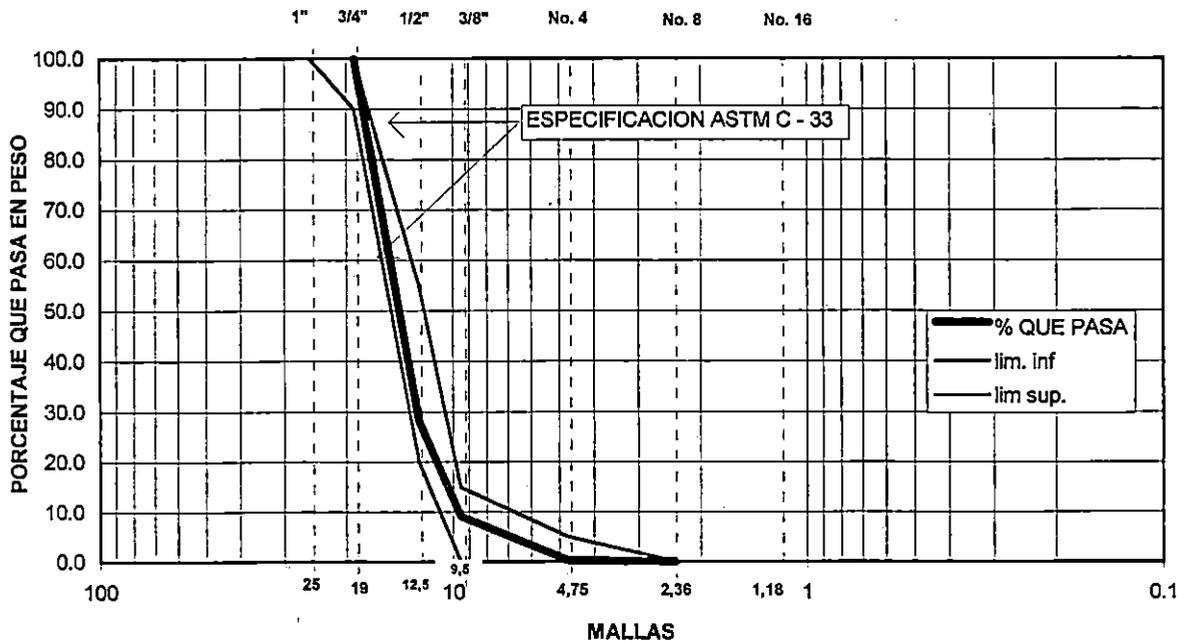
FECHA DE PRUEBA 20/05/97
 NORMA DE PRUEBA: ASTM C-136, C-33, C-125
 PROCEDENCIA "LA CANTERA S.A."

PESO DE MUESTRA: 8000 grs.
 LABORATORISTA: H.A.M.R. REVISOR: R.C.C.C.
 MUESTRA No. 1

| MALLAS U.S. ESTANDAR | DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (mm) | PESO RETENIDO (grs.) | % DE PESO RETENIDO PARCIAL | % RETENIDO ACUMULADO | % ACUMULADO QUE PASA |
|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 1/2" | 38.100 | | | | |
| 1" | 25.400 | | | | |
| 3/4" | 19.000 | 0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 |
| 1/2" | 12.500 | 5745.3 | 71.82 | 71.82 | 28.18 |
| 3/8" | 9.500 | 1521 | 19.01 | 90.83 | 9.17 |
| No. 4 | 4.750 | 717 | 8.96 | 99.79 | 0.21 |
| No. 8 | 2.360 | 15.1 | 0.19 | 99.98 | 0.02 |
| No. 16 | 1.180 | 1.20 | 0.015 | 99.995 | 0.005 |
| PASA No. 16 | | 0.40 | 0.005 | 100.00 | 0.00 |
| SUMAS | | 8000 | 100.0 | | |

ERROR = 0.003%

ANALISIS GRANULOMETRICO DE GRAVA DE 3/4"



DIAMETRO DE LAS PARTICULAS EN MILIMETROS

| GRAVA | | ARENA | | |
|--------|------|--------|-------|------|
| GRUESA | FINA | GRUESA | MEDIA | FINA |

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

CUADRO No 4.8

GRANULOMETRIA DE GRAVA 3/4" PARA CONCRETO

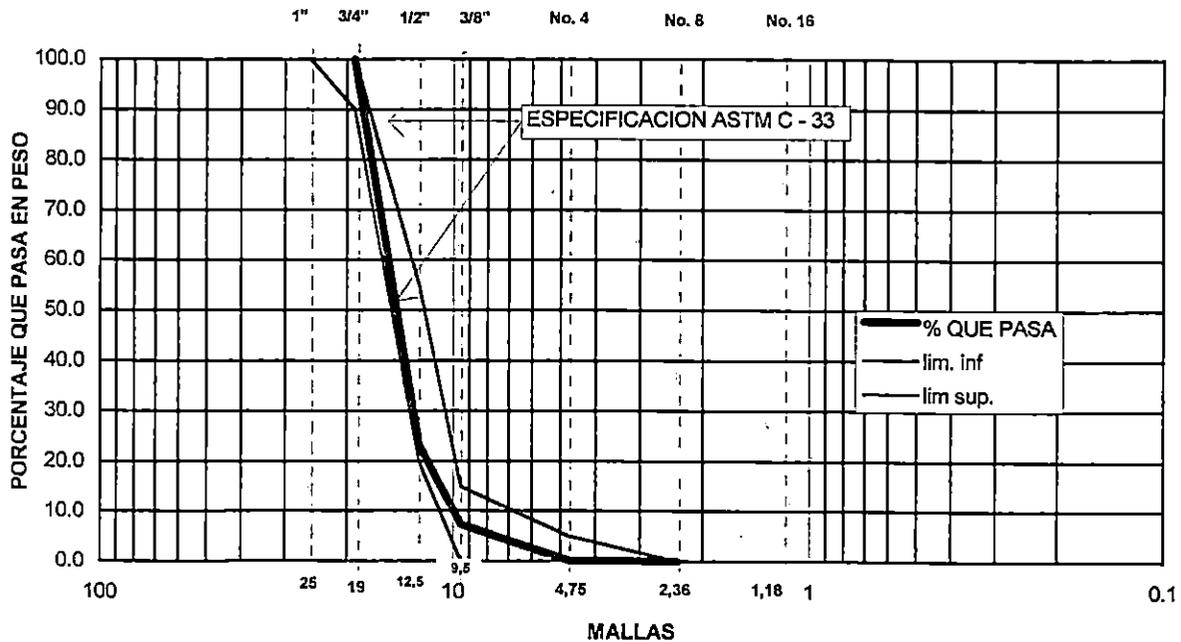
FECHA DE PRUEBA 20/05/97
 NORMA DE PRUEBA: ASTM C-136, C-33, C-125
 PROCEDENCIA "LA CANTERA S.A."

PESO DE MUESTRA: 8000 grs.
 LABORATORISTA: H.A.M.R. REVISOR: R.C.C.C.
 MUESTRA No. 2

| MALLAS U.S. ESTANDAR | DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (mm) | PESO RETENIDO (grs.) | % DE PESO RETENIDO PARCIAL | % RETENIDO ACUMULADO | % ACUMULADO QUE PASA |
|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 1/2" | 38.100 | | | | |
| 1" | 25.400 | | | | |
| 3/4" | 19.000 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 100.0 |
| 1/2" | 12.500 | 6132 | 76.65 | 76.65 | 23.35 |
| 3/8" | 9.500 | 1280 | 16.00 | 92.65 | 7.35 |
| No. 4 | 4.750 | 576 | 7.20 | 99.85 | 0.15 |
| No. 8 | 2.360 | 8 | 0.10 | 99.95 | 0.05 |
| No. 16 | 1.180 | 2 | 0.03 | 99.98 | 0.03 |
| PASA No. 16 | | 2 | 0.03 | 100.00 | 0.00 |
| SUMAS | | 8000 | 100.0 | | |

ERROR = 0.25%

ANALISIS GRANULOMETRICO DE GRAVA DE 3/4"



DIAMETRO DE LAS PARTICULAS EN MILIMETROS

| GRAVA | | ARENA | | |
|--------|------|--------|-------|------|
| GRUESA | FINA | GRUESA | MEDIA | FINA |

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

CUADRO No 4.9

GRANULOMETRIA DE GRAVA 3/4" PARA CONCRETO

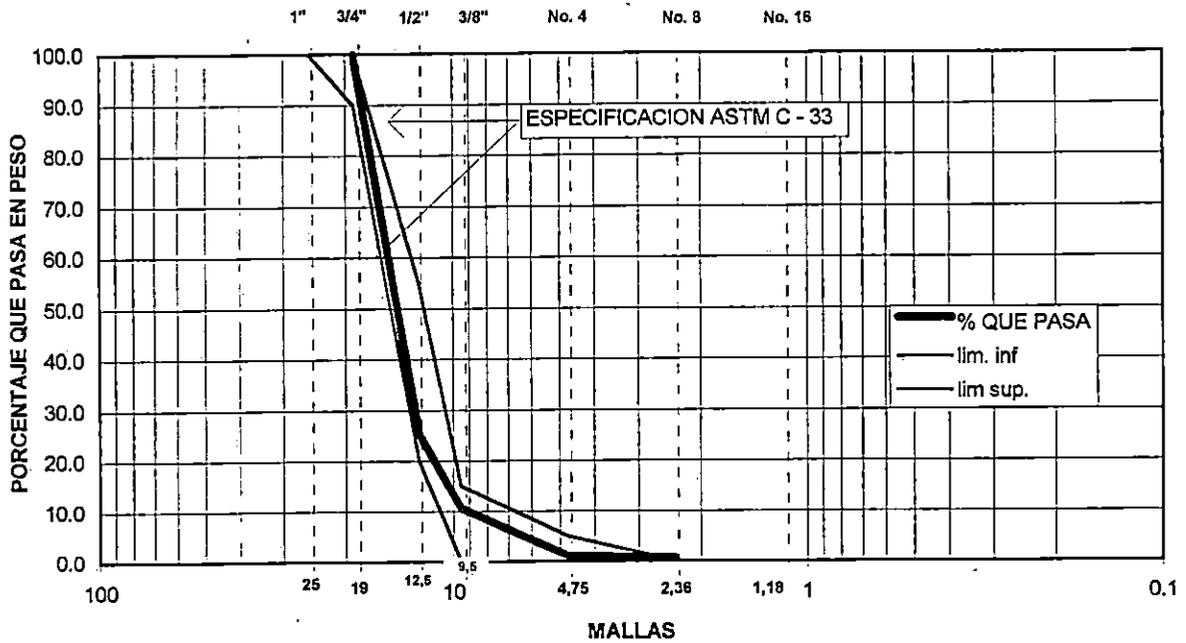
FECHA DE PRUEBA 20/05/97
 NORMA DE PRUEBA: ASTM C-136, C-33, C-125
 PROCEDENCIA "LA CANTERA S.A."

PESO DE MUESTRA: 8000 grs.
 LABORATORISTA: H.A.M.R. REVISOR: R.C.C.C.
 MUESTRA No. 3

| MALLAS U.S. ESTANDAR | DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (mm) | PESO RETENIDO (grs.) | % DE PESO RETENIDO PARCIAL | % RETENIDO ACUMULADO | % ACUMULADO QUE PASA |
|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 1/2" | 38.100 | | | | |
| 1" | 25.400 | | | | |
| 3/4" | 19.000 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.0 |
| 1/2" | 12.500 | 5976 | 74.70 | 74.70 | 25.30 |
| 3/8" | 9.500 | 1180 | 14.75 | 89.45 | 10.55 |
| No. 4 | 4.750 | 760 | 9.50 | 98.95 | 1.05 |
| No. 8 | 2.360 | 30 | 0.38 | 99.33 | 0.67 |
| No. 16 | 1.180 | 15.00 | 0.19 | 99.51 | 0.49 |
| PASA No. 16 | | 39.00 | 0.49 | 100.00 | 0.00 |
| SUMAS | | 8000 | 100.0 | | |

ERROR = 0.30%

ANALISIS GRANULOMETRICO DE GRAVA DE 3/4"



DIAMETRO DE LAS PARTICULAS EN MILIMETROS

| GRAVA | | ARENA | | |
|--------|------|--------|-------|------|
| GRUESA | FINA | GRUESA | MEDIA | FINA |
| | | | | |

CUADRO No. 4.10

GRANULOMETRIA DE GRAVA 1/2" PARA CONCRETO

FECHA: 13/06/97

PESO DE LA MUESTRA: 4000 grs.

NORMA DE PRUEBA: ASTM C-136, C-33, C-125

LABORATORISTA: C.M.R.G REVISO: R.C.C.C

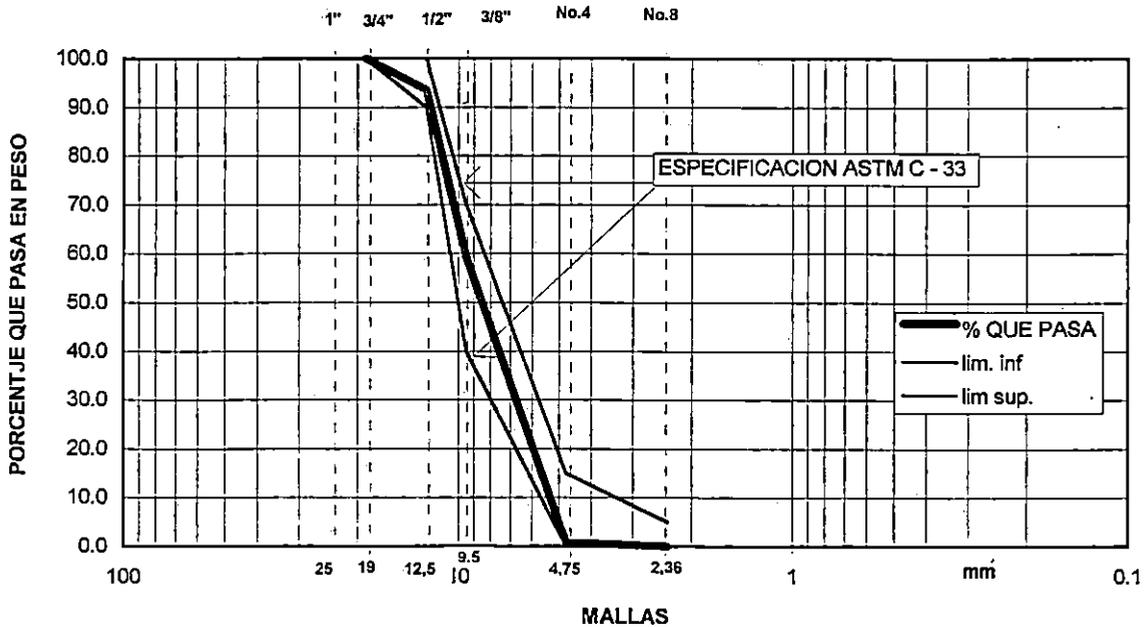
PROCEDENCIA: "LA CANTERA S.A."

PRUEBA No. 1

| MALLAS U.S. ESTANDAR | DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (mm) | PESO RETENIDO (grs.) | % DE PESO RETENIDO PARCIAL | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA MALLA |
|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------|---------------------|
| 1 1/2" | 38.100 | | | | |
| 1" | 25.400 | | | | |
| 3/4" | 19.000 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.500 | 258.80 | 6.47 | 6.47 | 93.53 |
| 3/8" | 9.500 | 1368.60 | 34.22 | 40.69 | 59.32 |
| No. 4 | 4.750 | 2339.30 | 58.48 | 99.17 | 0.83 |
| No. 8 | 2.360 | 33.00 | 0.825 | 99.99 | 0.01 |
| PASA No. 8 | 1.180 | 0.30 | 0.01 | 100.00 | 0.00 |
| SUMAS | | 4000 | 100.0 | | |

ERROR = 0.19%

ANALISIS GRANULOMETRICO DE GRAVA DE 1/2"



DIAMETRO DE LAS PARTICULAS EN MILIMETROS

| GRAVA | | ARENA | | |
|--------|------|--------|-------|------|
| GRUESA | FINA | GRUESA | MEDIA | FINA |

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

GRANULOMETRIA DE GRAVA 1/2" PARA CONCRETO

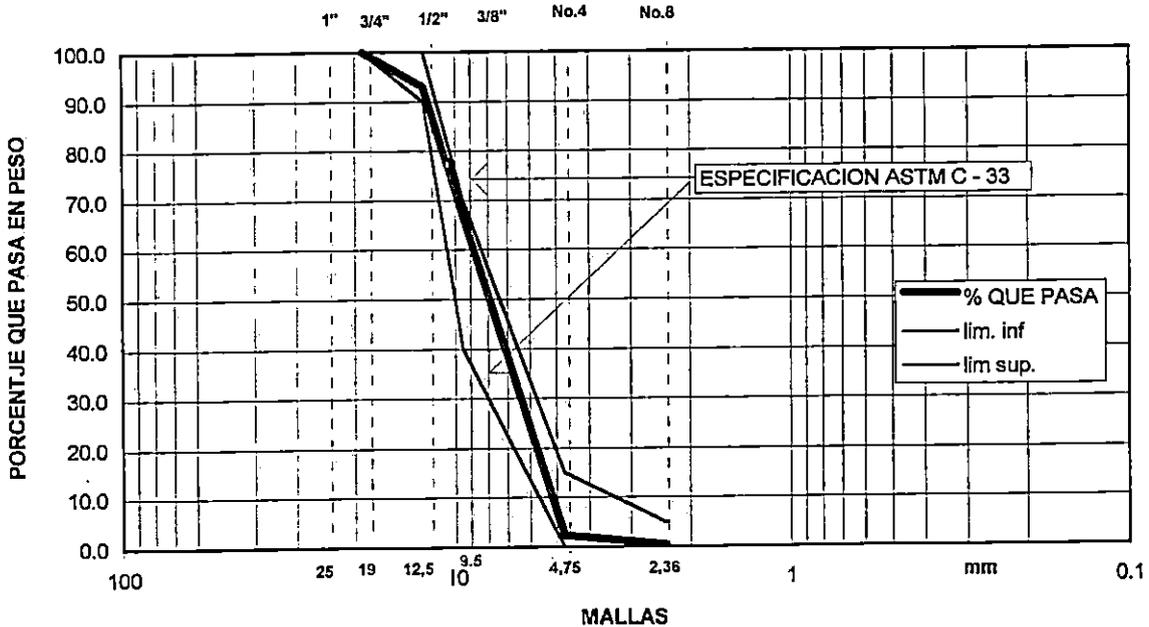
FECHA: 13/06/97
 NORMA DE PRUEBA: ASTM C-136, C-33, C-125
 PROCEDENCIA: "LA PEDRERA S. A."

PESO DE LA MUESTRA: 4000 grs.
 LABORATORISTA: C.M.R.G REVISO: R.C.C.C
 PRUEBA No. 2

| MALLAS U.S. ESTANDAR | DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (mm) | PESO RETENIDO (grs.) | % DE PESO RETENIDO PARCIAL | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA MALLA |
|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------|---------------------|
| 1 1/2" | 38.100 | | | | |
| 1" | 25.400 | | | | |
| 3/4" | 19.000 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.500 | 279.60 | 6.99 | 6.99 | 93.01 |
| 3/8" | 9.500 | 1048.70 | 26.22 | 33.21 | 66.79 |
| No. 4 | 4.750 | 2576.90 | 64.42 | 97.63 | 2.37 |
| No. 8 | 2.360 | 80.30 | 2.01 | 99.64 | 0.36 |
| PASA No. 8 | 1.180 | 14.50 | 0.36 | 100.00 | 0.00 |
| SUMAS | | 4000 | 100.0 | | |

ERROR = 0.05%

ANALISIS GRANULOMETRICO DE GRAVA DE 1/2"



DIAMETRO DE LAS PARTICULAS EN MILIMETROS

| GRAVA | | ARENA | | |
|--------|------|--------|-------|------|
| GRUESA | FINA | GRUESA | MEDIA | FINA |
| | | | | |

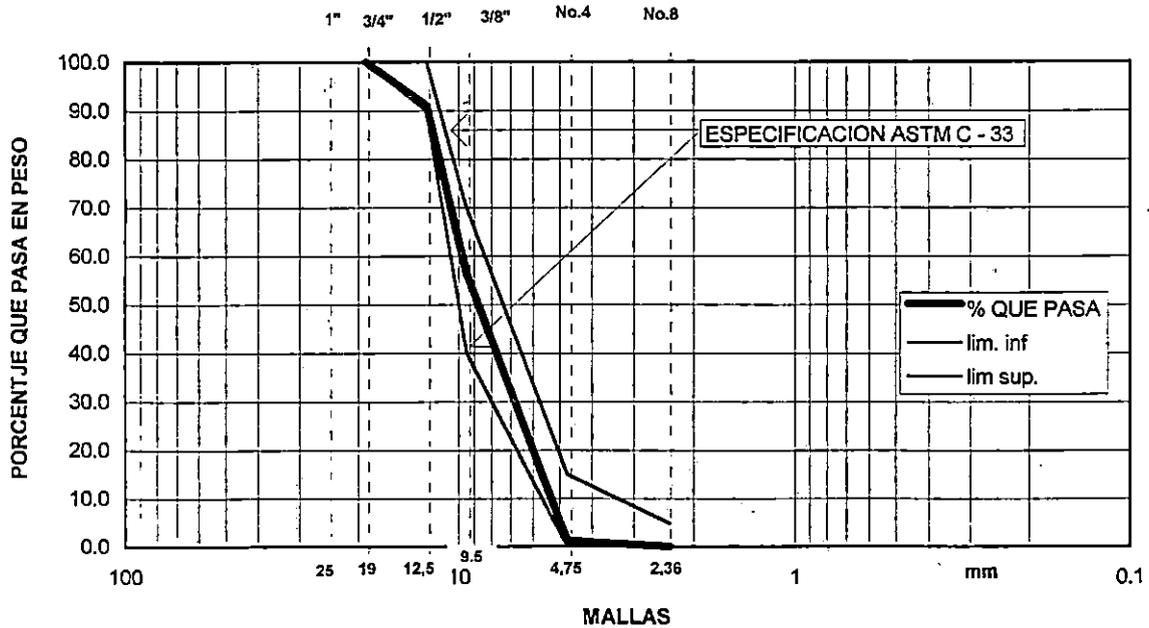
GRANULOMETRIA DE GRAVA 1/2" PARA CONCRETO

FECHA: 14/06/97 _____ PESO DE LA MUESTRA: 4000 grs. _____
 NORMA DE PRUEBA: ASTM C-136, C-33, C-125 _____ LABORATORISTA: C.M.R.G REVISO: R.C.C.C _____
 PROCEDENCIA: "LA PEDRERA S. A." _____ PRUEBA No. 3 _____

| MALLAS U.S. ESTANDAR | DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (mm) | PESO RETENIDO (grs.) | % DE PESO RETENIDO PARCIAL | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA MALLA |
|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------|---------------------|
| 1 1/2" | 38.100 | | | | |
| 1" | 25.400 | | | | |
| 3/4" | 19.000 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.500 | 354.90 | 8.87 | 8.87 | 91.13 |
| 3/8" | 9.500 | 1389.60 | 34.74 | 43.61 | 56.39 |
| No. 4 | 4.750 | 2206.70 | 55.17 | 98.78 | 1.22 |
| No. 8 | 2.360 | 47.00 | 1.18 | 99.96 | 0.05 |
| PASA No. 8 | 1.180 | 1.80 | 0.05 | 100.00 | 0.00 |
| SUMAS | | 4000 | 100.0 | | |

ERROR = 0.003%

ANALISIS GRANULOMETRICO DE GRAVA DE 1/2"



DIAMETRO DE LAS PARTICULAS EN MILIMETROS

| GRAVA | | ARENA | | |
|--------|------|--------|-------|------|
| GRUESA | FINA | GRUESA | MEDIA | FINA |
| | | | | |

4.3.2-2 GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS GRUESOS (ASTM C - 127).

La gravedad específica y la absorción de los agregados fueron determinados en base a muestras saturadas y superficialmente secas, pesadas en aire y sumergidas en agua utilizando un cesto (canastilla). Las cantidades de las muestras tomadas en condición saturadas y superficialmente secas fueron de 3 Kg. para el agregado de 19 mm (3/4") y de 2 Kg. para el agregado de 12.7 mm (1/2"). Para obtener las muestras con la condición saturadas y superficialmente secas, los agregados gruesos fueron previamente cuarteados, secados al horno y luego saturados en agua en un período de 24 horas. Los resultados de esta prueba se muestran en las tablas siguientes.

La Gravedad Específica y la Absorción se calcularon con las siguientes fórmulas:

- Gravedad Especifica en Masa (sss):

$$GE_{sss} = W1 / (W1 - Ws)$$

- Absorción :

$$\% Abs = (W1 - Wo) / Wo * 100$$

- W1= Peso de la Muestra en condición (sss)

- Ws= Peso Sumergido

-Wo= Peso de la Muestra Secado al Horno.

CUADRO No. 4.13

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE LA GRAVA DE 3/4"

| | | |
|-------------------------|--|--|
| PROCEDENCIA: | "LA CANTERA" S.A. (SAN DIEGO, DEPTO. DE LA LIBERTAD). | |
| TAMAÑO MAX DE AGREGADO: | 3/4" | |
| NORMA DE ENSAYO: | ASTM C 127 | |
| FECHA DE PRUEBA: | 05/06/97 | |
| LABORATORISTA: C.M.R.G. | REVISO: R.C.C.C. | |

| PRUEBA No. | P _{sss} (W ₁) (gr) | P _{sumerg.} (W _s) (gr) | Peso Seco + Tara. (gr) | Tara (gr) | P _{seco} W _o | GE (sss) W ₁ /(W ₁ -W _s) | % de ABSORCION (W ₁ -W _o)/W _o *100 |
|------------------|---|---|------------------------|-----------|----------------------------------|--|--|
| 1 | 3000 | 1850 | 3147 | 189.5 | 2957.50 | 2.609 | 1.437 |
| 2 | 3000 | 1847 | 3147 | 193.1 | 2953.90 | 2.602 | 1.561 |
| 3 | 3000 | 1845. | 3119 | 162.5 | 2956.50 | 2.597 | 1.471 |
| PROMEDIO: | | | | | | GE=2.60 | ABS= 1.49 % |

Donde:

- Gravedad Especifica en Masa (sss): $GE\ sss = W_1 / (W_1 - W_s)$ - Absorción : $\% Abs = (W_1 - W_o) / W_o * 100$ - W₁= Peso de la Muestra en condición (sss)- W_s= Peso Sumergido- W_o= Peso de la Muestra Secado al Horno.OBSERVACIONES: _____

CUADRO No. 4.14

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE LA GRAVA DE 1/2"

| | |
|-------------------------|---|
| PROCEDENCIA: | "LA CANTERA S.A" . (SAN DIEGO, DEPTO. DE LA LIBERTAD). |
| TAMAÑO MAX DE AGREGADO: | 1/2 " |
| NORMA DE ENSAYO: | ASTM C 127 |
| FECHA DE PRUEBA: | 05/06/97 |
| LABORATORISTA: R.C.C.C. | REVISO: H.A.M.R. |

| PRUEBA No. | P _{sss} (W ₁) (gr) | P _{sumerg.} (W _s) (gr) | Peso Seco + Tara. (gr) | Tara (gr) | P _{seco} W _o | GE (sss) W ₁ /(W ₁ -W _s) | % de ABSORCION (W ₁ -W _o)/W _o *100 |
|------------------|---|---|------------------------|-----------|----------------------------------|--|--|
| 1 | 2000 | 1217 | 2167 | 189.3 | 1960.7 | 2.554 | 2.004 |
| 2 | 2000 | 1218 | 2165 | 189.3 | 1962.7 | 2.558 | 1.900 |
| 3 | 2000 | 1222 | 2148 | 189.3 | 1960.7 | 2.571 | 2.004 |
| PROMEDIO: | | | | | | GE=2.56 | ABS= 1.97 % |

Donde:

- Gravedad Especifica en Masa (sss):

$$GE \text{ sss} = W_1 / (W_1 - W_s)$$

- Absorción :

$$\% \text{ Abs} = (W_1 - W_o) / W_o * 100$$

- W₁= Peso de la Muestra en condición (sss)- W_s= Peso Sumergido- W_o= Peso de la Muestra Secado al Horno.

OBSERVACIONES: _____

4.3.2-3 PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS GRUESOS (ASTM C-29).

El peso volumétrico o peso unitario es la relación entre el peso de un material y el volumen ocupado por el mismo, expresado en Kg./m³. En los agregados finos y gruesos dependiendo del método de acomodamiento que se le haya dado a estos, el peso volumétrico puede ser suelto (PVS) y varillado o compactado (PVV). Los valores de los pesos volumétricos no son considerados como una medida de la calidad de los materiales, pero se emplean en muchos otros cálculos como por ejemplo, el PVV se utiliza en el proporcionamiento de mezclas de concreto y en la conversión de cantidades en peso a cantidades en volumen.

En el ensayo se determinó el Peso Volumétrico Suelto (PVS) y el Peso Volumétrico Varillado (PVV), para el agregado de 19 mm (3/4") se utilizó el recipiente de 9300 cm³ (1/16 pie³) de capacidad y para el agregado de 12.7 mm (1/2") el recipiente de 2800 cm³ (1/10 pie³) de capacidad.

El cálculo de los pesos unitarios se realizó utilizando las ecuaciones siguientes:

- Peso Volumétrico Varillado.

$$PVV = \frac{(\text{Peso Varillado} + \text{Peso del Recipiente}) - (\text{Peso del Recipiente})}{\text{Volumen del Recipiente}}$$

- Peso Volumétrico Suelto.

$$PVS = \frac{(\text{Peso Suelto} + \text{Peso del Recipiente}) - (\text{Peso del Recipiente})}{\text{Volumen del Recipiente.}}$$

Los resultados de este ensayo son mostrados en las siguientes tablas:

CUADRO No. 4.15

PESO VOLUMÉTRICO SUELTO Y VARILLADO DE LA GRAVA DE 3/4".

| | |
|---|------------------------|
| NORMA DE PRUEBA: ASTM C - 29 | FECHA: 03/06/97 |
| PRUEBAS No. 1, 2 Y 3. | LABORATORISTA: R.C.C.C |
| PROCEDENCIA: "La Cantera S. A.". (San diego. Depto. de La Libertad) | REVISO: H.A.M.R |

| | PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO (PVV) | | | PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (PVS) | | |
|--|-------------------------------------|-----------|-----------|----------------------------------|-----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| PRUEBA No. | | | | | | |
| PESO DE MUESTRA + RECIPIENTE (gr.) | 20636.00 | 20685.00 | 20544.00 | 19947.00 | 19892.00 | 19965.00 |
| PESO DE RECIPIENTE (gr.) | 7090.00 | 7090.00 | 7090.00 | 7090.00 | 7090.00 | 7090.00 |
| PESO DE MUESTRA (gr.) | 13546.00 | 13595.00 | 13454.00 | 12857.00 | 12802.00 | 12875.00 |
| VOLUMEN DE RECIPIENTE (cm ³) | 9446.0025 | 9446.0025 | 9446.0025 | 9446.0025 | 9446.0025 | 9446.0025 |
| PESO VOLUMÉTRICO (gr./cm ³) | 1.43405 | 1.43923 | 1.42431 | 1.36110 | 1.35528 | 1.36301 |
| PESO VOLUMÉTRICO (kg./mt ³) | 1434.05 | 1439.23 | 1424.31 | 1361.10 | 1355.28 | 1363.01 |
| PROMEDIO: | PVV= 1432.53 Kg./m ³ | | | PVS= 1359.80 Kg./m ³ | | |

OBSERVACIONES: Datos obtenidos del recipiente utilizado para obtener los pesos unitarios: Diámetro del recipiente= 20.40 cm ;
 Altura del Recipiente= 28.40 cm ; Area= 326.85 cm² ; volumen= 9446.0025 cm³.

CUADRO No. 4.16

PESO VOLUMÉTRICO SUELTO Y VARILLADO DE LA GRAVA DE 1/2".

| | |
|---|------------------------|
| NORMA DE PRUEBA: ASTM C - 29 | FECHA: 13/06/97 |
| PRUEBAS No. 1, 2 y 3. | LABORATORISTA: R.C.C.C |
| PROCEDENCIA: "La Cantera S. A.". (San diego. Depto. de La Libertad) | REVISOR: C.M.R.G |

| PRUEBA No. | PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO (PVV) | | | PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (PVS) | | |
|--|-------------------------------------|----------|----------|----------------------------------|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| PESO DE MUESTRA + RECIPIENTE (gr.) | 5700.00 | 5679.00 | 5702.00 | 5330.00 | 5302.00 | 5363.00 |
| PESO DE RECIPIENTE (gr.) | 1610.20 | 1610.20 | 1610.20 | 1610.20 | 1610.20 | 1610.20 |
| PESO DE MUESTRA (gr.) | 4098.80 | 4068.80 | 4091.80 | 3719.80 | 3691.80 | 3752.80 |
| VOLUMEN DE RECIPIENTE (cm ³) | 2703.733 | 2703.733 | 2703.733 | 2703.733 | 2703.733 | 2703.733 |
| PESO VOLUMÉTRICO (gr./cm ³) | 1.51265 | 1.50488 | 1.51338 | 1.37580 | 1.36545 | 1.38801 |
| PESO VOLUMÉTRICO (kg./mt ³) | 1512.65 | 1504.88 | 1513.38 | 1375.80 | 1365.45 | 1388.01 |
| PROMEDIO: | PVV= 1510.30 Kg./m ³ | | | PVS=1376.42 Kg./m ³ | | |

OBSERVACIONES: Datos obtenidos del recipiente utilizado para obtener los pesos unitarios: Diámetro del recipiente= 15.0 cm ;
Altura del Recipiente= 15.30 cm ; Area= 176.71 cm²; volumen= 2703.733 cm³.

4.3.2-4 RESISTENCIA AL DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO (PRUEBA DE LOS ÁNGELES) (ASTM C -131).

La resistencia que los agregados gruesos oponen a sufrir desgaste, rotura o desintegración de partículas por efecto de la abrasión, es una característica que suele considerarse como un índice de su calidad en general y en particular de su capacidad para producir concretos durables en condiciones de servicio donde intervienen acciones deteriorantes de carácter abrasivo.

La prueba para determinar la resistencia al desgaste de los agregados gruesos se realizó utilizando la Máquina de los Ángeles, con el procedimiento de la Norma ASTM C-131-89 que tiene aplicación solamente para los tamaños menores de 37.5mm (1½"). La granulometría de la grava de 19 mm (¾") resultó ser tipo "B" con una carga de 11 esferas metálicas, mientras que la granulometría de la grava de 12.7 mm (½") resultó ser tipo "C" con una carga de 8 esferas metálicas. El porcentaje de desgaste producido por los efectos combinados del impacto y la abrasión de las esferas metálicas al cabo de 500 revoluciones para ambos agregados gruesos están abajo de 50% que es la pérdida máxima permisible por la norma ASTM C-33. Los resultados de las pruebas se muestran en la siguientes tablas.

CUADRO No. 4.17

**ENSAYO PARA RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN E
IMPACTO (PRUEBA DE LOS ÁNGELES).**

| | |
|---|--------------------------------|
| NORMA DE PRUEBA: ASTM C - 131. | MATERIAL: GRAVA DE 3/4" |
| PRUEBAS No. 1, 2 y 3. | FECHA DE PRUEBA: 13/06/97 |
| PROCEDENCIA: "LA CANTERA S.A." (SAN DIEGO, DEPTO. DE LA LIBERTAD) | |
| VELOCIDAD DE LA MAQUINA: 33 rev/min. | No. DE REVOLUCIONES: 500.00 |
| No. DE ESFERAS: 11.00 unidades | PESO DE ESFERAS (gr.): 4608.40 |
| LABORATORISTA: R.C.C.C. | REVISO: H.A.M.R. |

| GRANULOMETRIA TIPO "B". | | PRUEBA No. | | |
|--|-----------------|------------|---------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| RETENIDO | 1/2"= 2500 ± 10 | 2500.00 | 2500.00 | 2500.00 |
| EN MALLA | 3/8"= 2500 ± 10 | 2500.00 | 2500.00 | 2500.00 |
| (A) PESO TOTAL DE LAS MUESTRA (gr.) | | 5000.00 | 5000.00 | 5000.00 |
| (B) PESO FINAL DE LA MUESTRA RETENIDO EN MALLA No. 12 (1.70mm) (gr.) | | 4321.00 | 4281.00 | 4282.00 |
| % DESGASTE = (A - B)/A*100 | | 13.58 | 14.38 | 14.36 |
| % DESGASTE PROMEDIO = | | 14.10 | | |
| % DESGASTE MÁXIMO | | 50.00 | 50.00 | 50.00 |

OBSERVACIONES: La norma exige un peso de 4584.0 ± 25 para 11 esferas, en donde al realizar la suma de $4584.0 \pm 25 = 4609.0$ gr. y el peso total de las esferas empleadas en el ensayo es= 4608.4 lo que cumple: $4608.4 < 4609.0$

CUADRO No. 4.18

**ENSAYO PARA RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN E
IMPACTO (PRUEBA DE LOS ÁNGELES).**

| | |
|---|--------------------------------|
| NORMA DE PRUEBA: ASTM C - 131. | MATERIAL: GRAVA DE 1/2" |
| PRUEBAS No. 1, 2 y 3. | FECHA DE PRUEBA: 16/06/97 |
| PROCEDENCIA: "LA CANTERA S.A." (SAN DIEGO, DEPTO. DE LA LIBERTAD) | |
| VELOCIDAD DE LA MAQUINA: 33 rev/min. | No. DE REVOLUCIONES: 500.00 |
| No. DE ESFERAS: 8.00 | PESO DE ESFERAS (gr.): 3321.00 |
| LABORATORISTA: R.C.C.C. | REVISO: C.M.R.G. |

| GRANULOMETRIA TIPO "C". | | PRUEBA No. | | |
|---|------------------|------------|---------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| RETENIDO | 1/4" = 2500 ± 10 | 2500.00 | 2500.00 | 2500.00 |
| EN MALLA | No.4= 2500 ± 10 | 2500.00 | 2500.00 | 2500.00 |
| (A) PESO TOTAL DE LAS MUESTRA (gr.) | | 5000.00 | 5000.00 | 5000.00 |
| (B) PESO FINAL DE LA MUESTRA RETENIDO EN MALLA No. 12 (1.70 mm) (gr.) | | 4236.00 | 4227.00 | 4241.00 |
| % DESGASTE = (A - B)/A*100 | | 15.28 | 15.46 | 15.18 |
| % DESGASTE PROMEDIO = | | 15.31 | | |
| % DESGASTE MÁXIMO | | 50.00 | 50.00 | 50.00 |

OBSERVACIONES: La norma exige un peso de 3330.0 ± 20 para 8 esferas, en donde al realizar la suma de 3330.0 ± 20= 3350.0 gr. y el peso total de las esferas empleadas en el ensayo es= 3321.0 lo que cumple: 3321.0 < 3330. 0

* El agregado se observa de dos tipos, con algunos indicios de contenido ferroso y con mucho tiempo a la intemperie. Además después de la prueba de desgaste, el color del agregado era mas claro al compararlo con el agregado de 3/4".

4.3.2-5 PRUEBA PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS EN EL AGREGADO GRUESO (CRD 119).

La presencia de partículas planas y/o alargadas, tanto en los agregados naturales como en los manufacturados, se considera indeseable porque reduce la manejabilidad de las mezclas, dificulta el acomodo y la compactación del concreto fresco y afecta la resistencia mecánica del concreto endurecido. Debido a ello algunas especificaciones de obra y prácticas recomendadas como el ACI 207 (concreto masivo) recomienda no exceder de 20% en la proporción de estas partículas en los agregados.

Para identificar las partículas planas y alargadas contenidas en una muestra de agregados gruesos, es aplicable el "Método de Prueba para Partículas Planas y Alargadas en Agregado Grueso" del (CRD 119-53), que emplea un calibrador para tal propósito.

Para realizar la prueba en esta investigación se tomaron muestras previamente tamizadas por la mallas que pasan el cien por ciento de los tamaños máximos utilizados, fueron lavadas y secadas al horno durante 24 horas a temperatura de 110°C. Luego fueron cuarteadas y se tomaron las siguientes cantidades:

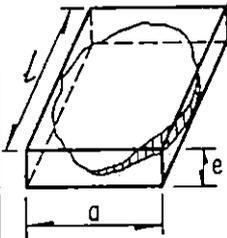
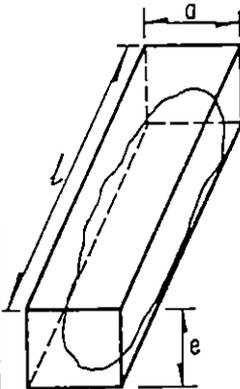
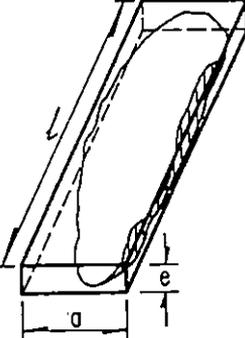
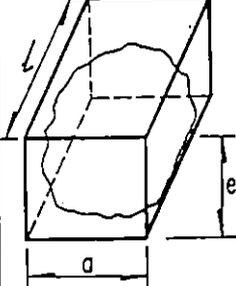
- Para grava de Tamaño Máximo de Agregado de 19mm (3/4") 5000 gr.
- Para grava de Tamaño Máximo de Agregado de 12.7 mm (1/2") 2000 gr.

Se tamizaron las cantidades anteriores hasta que aproximadamente 100 partículas fueran obtenidas en cada malla de mayor tamaño que la malla de 3/8" (9.5 mm) para ambos tamaños máximos de agregado.

Posteriormente se pesaron y contarón las partículas retenidas en cada malla para luego separarlas y clasificarlas en tres grupos: Planas, Alargadas y Cúbicas. Esta separación se

hizo utilizando un calibrador (pie de rey) con el cual se midió la longitud, el ancho y espesor de cada partícula para ser clasificada considerando que toda partícula puede ser inscrita en un prisma de longitud (l), ancho (a) y espesor (e). Normalmente se define como partículas planas las que tienen un ancho mayor a tres veces su espesor, y alargadas aquellas cuya longitud es mayor a tres veces su ancho. Por lo tanto las siguientes relaciones pueden ser utilizadas para clasificar las partículas según su forma.

Figura 4.1 Clasificación de Partículas planas y alargadas

| Partículas planas (lajeadas) | Partículas alargadas (oblongadas) | Partículas planas y alargadas (tabulares) | Partículas equidimensionales (cúbicas o esféricas) |
|--|--|---|--|
|  |  |  |  |
| $\frac{a}{e} > 3$ $\frac{l}{a} < 3$ | $\frac{l}{a} > 3$ $\frac{a}{e} < 3$ | $\frac{a}{e} > 3$ $\frac{l}{a} > 3$ | $l \approx a \approx e$ $\frac{a}{e} < 3$ $\frac{l}{a} < 3$ |

CUADRO No. 4.19

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS EN GRAVA DE 3/4 " (19 mm).

| Malla pulg (mm) | Peso Retenido (gr) | No. de Parti- culas | FORMA DE LAS PARTICULAS *** | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------|---------------|--------------|--------------------------|-------------|---------------|--------------|--------------------------|-------------|---------------|
| | | | PLANAS | | % | | ALARGADAS | | % | | CUBICAS | | % | |
| | | | Peso (gr) | No. de Partícula s | por peso | por Número | Peso (gr) | No. de Partícula s | por Peso | Por Número | Peso (gr) | No. de Partícula s | Por Peso | Por Numero |
| 3/4 "(19) | 0.00 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1/2"(12.5) | 823.40 | 116 | 49.6 | 9 | 6.0 | 7.8 | 8.7 | 2 | 1.1 | 1.7 | 765.10 | 105 | 92.9 | 90.5 |
| 3/8" (9.5) | 256.40 | 112 | 27.6 | 14 | 10.8 | 12.5 | 2.8 | 1 | 1.1 | 0.9 | 226.0 | 97 | 88.1 | 86.6 |
| SUMAS | 1079.8 | 228 | 77.20 | 23 | 16.8* | 20.3** | 11.5 | 3 | 2.2* | 2.6** | 991.1 | 202 | 181.0 | 177.10 |

OBSERVACIONES:

* El porcentaje de Partículas Planas + Alargadas por Peso= 16.8% + 2.2%= 19%

** El porcentaje de Partículas Planas + Alargadas por número= 20.3% + 2.6%= 22.9%

*** Según la Norma CRD 119 el valor del porcentaje de partículas planas y alargadas a tomar para cumplir un limite especificado del mismo o en caso de disputa debe ser el porcentaje por peso Por lo tanto el porcentaje de partículas planas y alargadas de la grava de 3/4" es 19%. Siendo menor que el 20% recomendado por el comité ACI 207 (concreto masivo) en la proporción de estas partículas. Aunque el porcentaje por número se excede de este 20% pero sin alejarse tanto (22.9%), la grava es aceptable en este caso.

CUADRO No. 4.20

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS EN GRAVA DE 1/2 " (12.5 mm).

| Malla pulg (mm) | Peso Retenido (gr) | No. de Parti- culas | FORMA DE LAS PARTICULAS *** | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------|---------------|--------------|--------------------------|-------------|---------------|---------------|--------------------------|-------------|---------------|
| | | | PLANAS | | % | | ALARGADAS | | % | | CUBICAS | | % | |
| | | | Peso (gr) | No. de Partícula s | por peso | por Número | Peso (gr) | No. de Partícula s | por Peso | Por Número | Peso (gr) | No. de Partícula s | Por Peso | Por Numero |
| 1/2"(12.5) | 0.00 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 3/8" (9.5) | 332.6 | 125 | 13.5 | 6 | 4.10 | 4.8 | - | - | - | - | 319.10 | 119 | 95.9 | 95.2 |
| SUMAS | 332.6 | 125 | 13.5 | 6 | 4.10* | 4.8** | - | - | - | - | 319.10 | 119 | 95.9 | 95.2 |

OBSERVACIONES:

* El porcentaje de Partículas Planas + Alargadas por Peso= 4.10% + 0%= 4.10%

** El porcentaje de Partículas Planas + Alargadas por número= 4.8% + 0%= 4.8%

*** Porcentaje de partículas planas y alargadas de la grava de 1/2" es 4.10%. Siendo menor que el 20% de estas partículas recomendado por el comité ACI 207 (concreto masivo).

4.3.2-6 CONTENIDO DE HUMEDAD TOTAL POR SECADO DE LOS AGREGADOS GRUESOS (ASTM C-566).

Especial cuidado se tomó en la limpieza de los agregados gruesos utilizados en todas las mezclas elaboradas, puesto que fueron previamente lavados con el objetivo de eliminarles el polvo y beneficiar la adherencia entre la pasta de cemento endurecida y los agregados gruesos. De este modo resultó necesario controlar el contenido de humedad constantemente de acuerdo a la condición en que la grava era utilizada con el fin de realizar las correcciones al agua de las mezclas. Este contenido de humedad total se determina de acuerdo a la norma ASTM C-566 que permite utilizar una muestra mínima de 3 Kg. para un tamaño máximo nominal de grava de 19mm (3/4") y de 2 Kg. para un tamaño máximo nominal de grava de 12.7 mm (1/2"), que fueron los dos tamaños de grava utilizadas en esta investigación. Algunos de los resultados obtenidos de esta prueba se muestran a continuación.

CUADRO No. 4.21

CONTENIDO DE HUMEDAD DE GRAVA DE 3/4 "

| | |
|--|------------------------------|
| PRUEBAS: No. 1 y 2 | FECHAS: 02/09/97 Y .05/09/97 |
| NORMA DE PRUEBA: ASTM C - 566 | PESO INICIAL: 3000 grs. |
| PROCEDENCIA: "LA CANTERA S. A. (SAN DIEGO, DEPTO. DE LA LIBERTAD). | |
| LABORATORISTA: R.C.C.C. | REVISO: H.A.M.R. Y C.M.R.G. |

MUESTREO No. 1

| MUESTRA No. | PESO _{HUMEDO+TARA} (gr.) | PESO _{SECO+TARA} (gr.) | TARA (gr.) | CONTENIDO DE HUMEDAD (%W) |
|--|--------------------------------------|------------------------------------|---------------|------------------------------|
| 1 | 3139.5 | 3097.0 | 139.5 | 1.44 |
| 2 | 3166.6 | 3116.0 | 166.6 | 1.72 |
| 3 | 3159.4 | 3113.0 | 159.4 | 1.57 |
| Promedio de Contenido de Humedad: | | | | %W= 1.58 |

MUESTREO No. 2

| MUESTRA No. | PESO _{HUMEDO+TARA} (gr.) | PESO _{SECO+TARA} (gr.) | TARA (gr.) | CONTENIDO DE HUMEDAD (%W) |
|--|--------------------------------------|------------------------------------|---------------|------------------------------|
| 1 | 3192.90 | 3160.0 | 192.90 | 1.11 |
| 2 | 3139.30 | 3094.0 | 139.30 | 1.53 |
| 3 | 3166.40 | 3130.0 | 166.40 | 1.23 |
| Promedio de Contenido de Humedad: | | | | %W= 1.29 |

CONTENIDO DE HUMEDAD (%W)

$$\%W = \frac{(\text{PESO}_{\text{HUMEDO+TARA}} - \text{PESO}_{\text{SECO+TARA}}) \cdot 100}{(\text{PESO}_{\text{SECO+TARA}} - \text{TARA})}$$

OBSERVACIONES: - Para Muestreo No.1: La grava se lavó con un día de anticipación, porque así se ocupó en el diseño de mezcla de concreto, por lo tanto se encontraba húmeda.
Para Muestreo No. 2: La grava tenía de 2 a 3 días de lavada, porque también así se ocupó en el diseño de mezcla de concreto, por lo tanto seca.

CUADRO No. 4.22

CONTENIDO DE HUMEDAD DE GRAVA DE 1/2 "

| | |
|--|------------------------------|
| PRUEBAS: No. 1 y 2 | FECHAS: 02/09/97 Y .05/09/97 |
| NORMA DE PRUEBA: ASTM C - 566 | PESO INICIAL: 2000 grs. |
| PROCEDENCIA: "LA CANTERA S. A. (SAN DIEGO, DEPTO. DE LA LIBERTAD). | |
| LABORATORISTA: R.C.C.C. | REVISO: H.A.M.R. Y C.M.R.G. |

MUESTREO No. 1

| MUESTRA No. | PESO _{HUMEDO+TARA} (gr.) | PESO _{SECO+TARA} (gr.) | TARA (gr.) | CONTENIDO DE HUMEDAD (%W) |
|--|--------------------------------------|------------------------------------|---------------|------------------------------|
| 1 | 2162.40 | 2111.0 | 162.40 | 2.63 |
| 2 | 2162.20 | 2104.0 | 162.20 | 2.99 |
| 3 | 2160.05 | 2105.39 | 160.05 | 2.81 |
| Promedio de Contenido de Humedad: | | | | %W= 2.81 |

MUESTREO No. 2

| MUESTRA No. | PESO _{HUMEDO+TARA} (gr.) | PESO _{SECO+TARA} (gr.) | TARA (gr.) | CONTENIDO DE HUMEDAD (%W) |
|--|--------------------------------------|------------------------------------|---------------|------------------------------|
| 1 | 2142.20 | 2104.0 | 142.20 | 1.95 |
| 2 | 2159.90 | 2123.0 | 159.90 | 1.88 |
| 3 | 2097.70 | 2060.0 | 97.70 | 1.92 |
| Promedio de Contenido de Humedad: | | | | %W= 1.92 |

CONTENIDO DE HUMEDAD (%W)

$$\%W = \frac{(\text{PESO}_{\text{HUMEDO+TARA}} - \text{PESO}_{\text{SECO+TARA}}) \cdot 100}{(\text{PESO}_{\text{SECO+TARA}} - \text{TARA})}$$

OBSERVACIONES: - Para Muestreo No.1: La grava se lavó con un día de anticipación, porque así se ocupó en el diseño de mezcla de concreto, por lo tanto se encontraba húmeda.
Para Muestreo No. 2: La grava tenía de 2 a 3 días de lavada, porque también así se ocupó en el diseño de mezcla de concreto, por lo tanto se encontraba seca.

4.3.3 CEMENTO.

Se utilizó un nuevo cemento elaborado en el país por la fábrica CESSA y corresponde a un cemento portland tipo I (ASTM C-150) conocido con el nombre de "CESSA 5000".

Según las normas ASTM para cementos portland deben realizarse las siguientes pruebas para garantizar un estricto control de calidad de los cementos:

| NORMAS ASTM | DESCRIPCIÓN |
|-------------|---|
| C-150 | Especificación para Cementos Portland. |
| C-109 | Método de prueba para Resistencia a la Compresión de especímenes cúbicos de mortero usando (2"x 2" ó 50x50 mm). |
| C-114 | Método de prueba para Análisis Químico del cemento. |
| C-115 | Método de prueba para determinar la Finura del cemento por medio del aparato del turbidímetro. |
| C-151 | Método de Prueba para determinar la Expansión en Autoclave del cemento portland (sanidad). |
| C-186 | Método de Prueba para determinar el Calor de Hidratación del cemento. |
| C-191 | Método de Prueba determinar el Tiempo de Fraguado del cemento por la Aguja de Vicat. |
| C-204 | Método de Prueba para determinar la Finura del cemento usando el aparato de permeabilidad al aire de Blaine. |
| C-188 | Método de Prueba para determinar el Peso Específico del cemento. |
| C-305 | Practica para mezclado mecánico de Pastas de cemento hidráulico y morteros de consistencia plástica. |
| C-187 | Método de Prueba para la determinación de la consistencia normal del cemento hidráulico. |
| C-778 | Especificación para Arena Standard |

A este cemento solamente se le determinaron algunos requerimientos físicos de la norma ASTM C-150 -95 como:

- a) Consistencia Normal de cemento hidráulico (ASTM C-187).
- b) Tiempo de Fraguado del cemento hidráulico por la aguja de Vicat. (ASTM C-191).
- c) Prueba para determinar la resistencia a la compresión de especímenes cúbicos de mortero. (ASTM C-109).

Requerimientos físicos del cemento Portland tipo I⁸²

| | |
|---|--------------|
| Tipo de Cemento | I |
| Contenido de Aire en mortero, Volumen % | |
| Máximo | 12 |
| Mínimo..... | |
| Finura, superficie específica, m²/kg (Métodos alternativos): | |
| Prueba por Turbidímetro, mínimo..... | 160 |
| Prueba por Permeabilidad al aire, mínimo..... | 280 |
| Sanidad: | |
| Expansión en Autoclave, Máximo %..... | 0.80 |
| Resistencia a la compresión Mpa (psi), no menos que los valores especificados para las edades indicadas abajo: | |
| 1 día..... | |
| 3 días..... | 12.0 (1740) |
| 7 días..... | 19.0 (2760) |
| 28 días..... | 28.0 (4060)* |
| Tiempo de Fraguado (métodos alternativos): | |
| Prueba de Gillmore: | |
| Fraguado inicial, en minutos, no menor que..... | 60 |
| Fraguado Final, en minutos, no mayor que..... | 600 |
| Prueba de Vicat: | |
| Tiempo de fraguado, en minutos, no menos que..... | 45 |
| Tiempo de fraguado, en minutos, no mayor que..... | 375 |
| Falso fraguado, penetración final, mínimo, % | 50 |
| Calor de hidratación: | |
| 7 días, máximo, cal/g..... | ... |
| 28 días, máximo, cal/g..... | ... |

En cuanto a la gravedad específica y finura del cemento, estos fueron proporcionados por el fabricante (CESSA).

- **Gravedad Específica:** 3.15 (dato que se utiliza en el diseño de mezclas).

- **Finura:** 3400 BLAINE

⁸² Designación: C 150 - 95, Standard Specification for Portland Cement. Annual Book of ASTM Standard. Vol 04.02. Chicago, 1995 pag. 94. (Traducción Libre al español, elaborada por el grupo).

* Valor de Resistencia opcional a los 28 días, según la norma ASTM C-150-95, en pag. 94 del Annual Book of ASTM Standar Vol 04.02.

4.3.3-1 CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO HIDRÁULICO. (ASTM C - 187).

Con este método de prueba se conoce la cantidad de agua que es necesario agregar a un peso de cemento (650 gr.), para obtener una consistencia normal. La determinación de esta consistencia sirve como referencia para la realización de otras pruebas tales como: determinación de la Resistencia a la Tensión, Tiempos de Fraguado, Expansión en Autoclave, y otras.

El agua de consistencia normal puede definirse como la cantidad de agua necesaria para que la aguja de 1 cm de diámetro del aparato de vicat penetre 10 ± 1 mm durante un tiempo de 30 segundos en la pasta de cemento, después de haberse iniciado la prueba.

Se realizaron 2 ensayos de consistencia normal, utilizándose aparatos de vicat diferente para cada prueba, la cantidad de agua resultante de esta prueba se utilizaría para determinar el tiempo de fraguado del cemento portland tipo I (CESSA 5000), que se emplearía en las mezclas de concreto.

Para esta prueba se utilizó el procedimiento para mezclado de pastas de acuerdo a la norma ASTM C - 305, utilizándose el equipo de tazón de mezclado para pastas y mortero. Además se utilizó agua destilada y hielo, para mantener la temperatura del agua según se especifica en el método de prueba de norma. Los ensayos se realizaron por la mañana, porque la temperatura tanto del equipo como de los materiales es muy importante en los resultados.

CUADRO No. 4.23

CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO

| | |
|--|---------------------------|
| NORMAS DE PRUEBA: ASTM C-187 Y ASTM C- 305 Para mezclado de pasta de cemento hidráulico y morteros de consistencia plástica. | |
| PROCEDENCIA: Fabrica CESSA | CEMENTO: Portland Tipo I. |
| LABORATORISTA: H.A.M.R. | REVISO: R.C.C.C. |
| PESO INICIAL DE LA MUESTRA: 650 gr | FECHA: 29/07/97 |
| EQUIPO: Aparato de Vicat y Tazón de mezclado para pastas y mortero. | |

ENSAYO No. 1

| | | | | | |
|--|----------------------------|----------------------------|-------|-------|--------|
| HORA: 8 a.m. | TEMPERATURA DEL AGUA: 22°C | TEMPERATURA AMBIENTE: 22°C | | | |
| PRUEBA No. : | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| TIEMPO DE MEZCLADO: | 4: 10 | 4: 05 | 4: 07 | 4: 12 | |
| VOLUMEN DE AGUA (ml): | 165 | 150 | 155 | 157 | |
| LECTURA INICIAL LI (mm): | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| LECTURA FINAL LF (mm): | 25 | 7 | 9 | 10 | |
| PENETRACIÓN LF - LI (mm): | 25 | 7 | 9 | 10 | |
| PESO _{MUESTRA HÚMEDA} + TARA (gr) : | - | - | - | - | 401.6 |
| PESO _{MUESTRA SECA} + TARA (gr) : | - | - | - | - | 363.3 |
| TARA (gr) : | - | - | - | - | 95.3 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%W)= | - | - | - | - | 14.29% |

La cantidad de agua requerida para preparar la pasta de cemento en la prueba de tiempo de fraguado es: 157 ml.

ENSAYO No. 2

| | | | | | |
|--|----------------------------|----------------------------|--------|--|--|
| HORA: 10 a.m. | TEMPERATURA DEL AGUA: 22°C | TEMPERATURA AMBIENTE: 25°C | | | |
| PRUEBA No. : | 1 | 2 | 3 | | |
| TIEMPO DE MEZCLADO: | 4: 15 | 4: 10 | 4: 08 | | |
| VOLUMEN DE AGUA (ml): | 157 | 159 | 158 | | |
| LECTURA INICIAL LI (mm): | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | |
| LECTURA FINAL LF (mm): | 8 | 12 | 10 | | |
| PENETRACIÓN= LF - LI (mm): | 8 | 12 | 10 | | |
| PESO _{MUESTRA HÚMEDA} + TARA (gr) : | - | - | 467.9 | | |
| PESO _{MUESTRA SECA} + TARA (gr) : | - | - | 424.5 | | |
| TARA (gr) : | - | - | 121.2 | | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%W)= | - | - | 14.31% | | |

La cantidad de agua requerida es= 158 ml.

OBSERVACIONES: Para los Ensayos 1 y 2 se utilizaron aparatos de Vicat diferentes.
El agua utilizada fue destilada para los ensayos realizados.

4.3.3-2 TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRÁULICO POR LA AGUJA DE VICAT (ASTM C - 191).

El objetivo de esta prueba es determinar si el cemento a utilizar en las mezclas de concreto tenía un fraguado de acuerdo con los tiempos especificados en la norma ASTM C-150, efectuándose, pruebas con el aparato de Vicat.

El fraguado inicial de la pasta de cemento no debe ocurrir demasiado pronto, ni tampoco el fraguado final debe ocurrir demasiado tarde. Estos tiempos de fraguado indican si la pasta de cemento esta desarrollando sus reacciones de hidratación de forma normal.

Se realizaron 2 ensayos, utilizándose aparatos de Vicat diferentes para cada una de las pruebas, la preparación de la pasta de cemento se efectuó de acuerdo a la práctica de mezclado mecánico de pastas de cemento hidráulico y mortero de consistencia plástica (ASTM C-305), utilizándose para la mezcla 650 gr. de cemento, agua destilada (157 ml y 158 ml) y hielo para mantener la temperatura del agua según especificaciones de la norma.

Con los datos que se obtuvieron de los tiempos y penetración de la aguja de Vicat se elaboró la gráfica Tiempo-Penetración, en donde se interceptó a la curva del gráfico cuando la aguja penetra 25 mm, obteniéndose el tiempo de fraguado inicial y posteriormente el tiempo de fraguado final cuando la penetración es cero.

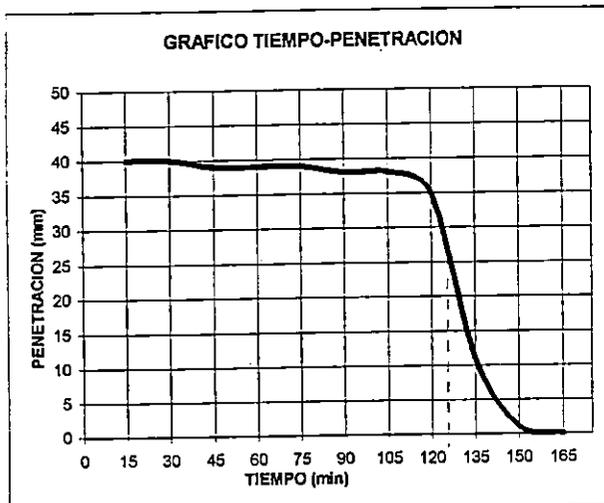
Los datos y gráficas de los ensayos realizados se muestran a continuación:

TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRAULICO POR LA AGUJA DE VICAT.

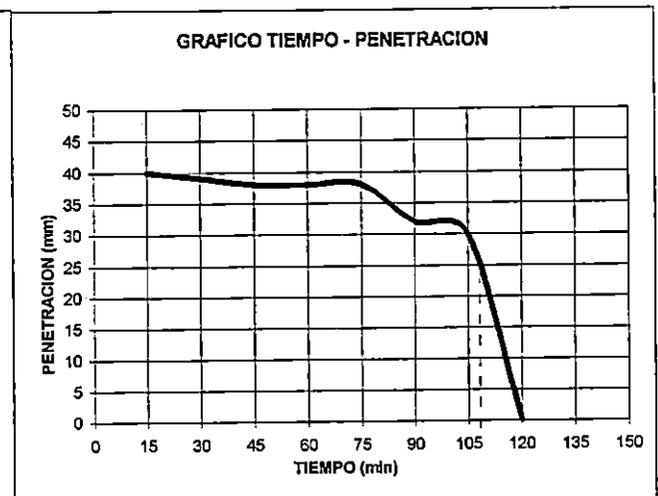
| | |
|------------------------------|--------------------------|
| NORMA DE PRUEBA: ASTM C-191 | FECHA: 29/07/97 |
| PROCEDENCIA: FABRICA "CESSA" | CEMENTO: PORTLAND TIPO I |
| LABORATORISTA: H.A.M.R. | REVISO: R.C.C.C. |
| EQUIPO: APARATO DE VICAT | ENSAYOS No. 1 Y 2. |

| PRUEBA No. 1 | |
|--------------|------------------|
| HORA | TEMPERATURA |
| 9 a.m. | 22°C |
| 11.45 a.m. | 26.5°C |
| TIEMPO(min) | PENETRACION (mm) |
| 15 | 40 |
| 30 | 40 |
| 45 | 39 |
| 60 | 39 |
| 75 | 39 |
| 90 | 38 |
| 105 | 38 |
| 120 | 35 |
| 135 | 11 |
| 150 | 1 |
| 165 | 0 |

| PRUEBA No. 2 | |
|--------------|------------------|
| HORA | TEMPERATURA |
| 10 a.m. | 26°C |
| 12 p.m. | 28°C |
| TIEMPO (min) | PENETRACION (mm) |
| 15 | 40 |
| 30 | 39 |
| 45 | 38 |
| 60 | 38 |
| 75 | 38 |
| 90 | 32 |
| 105 | 30 |
| 120 | 0 |
| | |
| | |
| | |



INTERCEPTANDO LA CURVA ENCONTRAMOS:
 TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL (tfi)= 127,5 min
 TIEMPO DE FRAGUADO FINAL (tff)= 165 min



INTERCEPTANDO LA CURVA ENCONTRAMOS:
 TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL (tfi)= 108,75 min
 TIEMPO DE FRAGUADO FINAL (tff)= 120 min

4.3.3-3 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (USANDO ESPECÍMENES CUBICOS DE 2" X 2") (ASTM C - 109).

Con este ensayo se determina la resistencia a la compresión del cemento hidráulico a partir de pruebas de cubos estándar de 2"x2" ó 5x5 cm. Estos cubos se hacen mezclando cemento portland y arena estándar de acuerdo a la especificación ASTM C-778, la mezcla se elabora de acuerdo al procedimiento para mezclado de morteros según la norma ASTM C-305 (mezclado mecánico de pastas de cemento hidráulico y morteros de consistencia plástica). Luego se moldean los especímenes de pruebas en moldes cúbicos especificados (2" x 2"), se curan y son ensayados de acuerdo a la norma ASTM C-109. Los resultados de esta prueba son utilizados para determinar si un cemento cumple con los requisitos de resistencia a compresión especificados en la norma ASTM C-150. Estos datos de resistencia a compresión de cubos de mortero no deben utilizarse para predecir la resistencia de los concretos con exactitud debido a la gran cantidad de variables que intervienen.

En este ensayo se realizaron 2 bachadas de prueba diferentes, con una misma relación $A/C = 0.485$ especificada para todos los cementos portland, utilizando las cantidades de materiales siguientes: 500 gr. de cemento portland, 1365 gr. de arena estándar y 242 ml de agua destilada, para elaborar la cantidad de 6 especímenes por bachada. Se utilizó hielo para mantener la temperatura que especifica la norma, además los ensayos se realizaron por la mañana para tener una temperatura en el ambiente de laboratorio y la del equipo de acuerdo a especificación. Los especímenes fueron curados en el laboratorio y ensayados a la edad de 7 y 28 días en la máquina Universal de la Universidad de El Salvador. Los datos y resultados se muestran a continuación:

CUADRO No. 4.25

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CUBOS DE MORTEROS DE CEMENTO PORTLAND.

| NORMAS DE REFERENCIAS | |
|--|-------------------------------|
| ASTM C- 109: MÉTODO ESTÁNDAR PARA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO. | |
| ASTM C - 305: MEZCLADO MECÁNICO DE PASTAS DE CEMENTO HIDRÁULICO Y MORTEROS DE CONSISTENCIA PLÁSTICA. | |
| ASTM C - 778: ESPECIFICACIÓN PARA ARENA ESTÁNDAR.(Arena de Ottawa.) | |
| CEMENTO: PORTLAND TIPO I. | PROCEDENCIA: FABRICA "CESSA". |
| LABORATORISTA: R.C.C.C | REVISO: H.A.M.R. |
| EQUIPO: MOLDES CUBOS DE 2" X 2" Y TAZÓN DE MEZCLADO. | |

1° BACHADA

| EDAD DE PRUEBA: 7 DÍAS | | | FECHA: 15/08/97 | |
|------------------------------|-----------|------------------|-----------------|--------------------------------|
| CUBO | PESO (Kg) | DIMENSIONES (cm) | CARGA (Kg) | ESFUERZO (Kg/cm ²) |
| 1 | 276.50 | 5.1 x 5.1 x 5.1 | 5800.0 | 222.99 |
| 2 | 278.50 | 5.1 x 5.1 x 5.1 | 5800.0 | 222.99 |
| 3 | 276.50 | 5.1 x 5.1 x 5.1 | 5800.0 | 215.30 |
| RESISTENCIA PROMEDIO= 220.43 | | | | |

1° BACHADA

| EDAD DE PRUEBA: 28 DÍAS | | | FECHA: 27/08/97 | |
|------------------------------|-----------|------------------|-----------------|--------------------------------|
| CUBO | PESO (Kg) | DIMENSIONES (cm) | CARGA (Kg) | ESFUERZO (Kg/cm ²) |
| 1 | 279.00 | 5.1 x 5.1 x 5.1 | 7475.0 | 287.39 |
| 2 | 278.50 | 5.1 x 5.1 x 5.1 | 8165.0 | 313.92 |
| 3 | 278.80 | 5.1 x 5.1 x 5.1 | 7877.5 | 302.86 |
| RESISTENCIA PROMEDIO= 301.39 | | | | |

2° BACHADA

| EDAD DE PRUEBA: 28 DÍAS | | | FECHA: 27/08/97 | |
|------------------------------|-----------|------------------|-----------------|--------------------------------|
| CUBO | PESO (Kg) | DIMENSIONES (cm) | CARGA (Kg) | ESFUERZO (Kg/cm ²) |
| 1 | 280.3 | 5.1 x 5.1 x 5.1 | 7475.0 | 287.39 |
| 2 | 282.3 | 5.1 x 5.1 x 5.1 | 7820.0 | 300.65 |
| 3 | 281.5 | 5.1 x 5.1 x 5.1 | 7245.0 | 278.54 |
| RESISTENCIA PROMEDIO= 288.86 | | | | |

OBSERVACIONES: Se utilizó en las mezclas de mortero Arena standard de ottawa y Agua destilada.

4.3.4 ADITIVOS Y ADICIONES.

- **ADITIVOS.**

Según el comité ACI 212, el control de calidad de los aditivos puede determinarse por algunas pruebas para identificar su uniformidad. Estas pruebas son: Contenido de Sólidos, Densidad, Espectrofotometría Infraroja para determinar Materiales Orgánicos, Contenido de Cloruros y el pH.⁸³

Los Aditivos utilizados en las mezclas de concreto fueron Reductores de Agua de Alto Rango tipo "F" y "G" de la marca "EDECON" cuyo fabricante es: "CONCRETE CONTROLS, INC".

A estos aditivos solamente se les determinó el contenido de sólidos, ya que la cantidad de agua aportada por el aditivo debe ser considerada para corregir el agua libre en el diseño de mezcla, además, los otros datos como la gravedad específica que también se utiliza en el diseño de las mezclas fueron obtenidos del fabricante.

Datos de los Aditivos:

a) Edecon "POWER MIX 100".

- Reductor de Agua de Alto Rango (Superplastificante)
- Segun Normas: ASTM C-494 Tipo "F" y ASTM C-1017 Tipo I.
- Gravedad Especifica (G.E.)= 1.21 ± 0.01
- Contenido de Sólidos (ver cuadro No. 4.26).

CUADRO No. 4.26 CONTENIDO DE SOLIDOS (%)

| Prueba No. | Peso de aditivo + tara (gr) | Peso seco + tara (gr) | Tara (gr) | % de Sólidos en peso. |
|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------|--------------------------|
| 1 | 89.8 | 44.2 | 9.8 | 43.00 |
| 2 | 90.4 | 44.9 | 10.3 | 43.20 |
| 3 | 90.5 | 44.8 | 10.5 | 42.90 |
| Promedio % de Sólidos en Peso: | | | | %= 43.03 |

⁸³ Chemical Admixture for Concrete, Reported by ACI Committee 212, ACI 212.3R-61, Pag. 18.

b) Edecon "SLUMPMIX - C".

- Reductor de Agua de Alto Rango Retardante.
- Segun Normas: ASTM C-494 Tipo "G" y ASTM C-1017 Tipo II.
- Gravedad Especifica (G.E.)= 1.25 ± 0.01
- Contenido de Sólidos (ver cuadro No. 4.27).

CUADRO No. 4.27 CONTENIDO DE SOLIDOS (%).

| Prueba No. | Peso de aditivo + tara (gr) | Peso seco + tara (gr) | Tara (gr) | % de sólidos en peso. |
|--|--------------------------------|--------------------------|--------------|--------------------------|
| 1 | 88.5 | 39.2 | 9.1 | 37.91 |
| 2 | 89.3 | 39.8 | 9.3 | 38.13 |
| 3 | 88.4 | 39.3 | 9.4 | 37.85 |
| Promedio de % de Sólidos en Peso: | | | | %= 37.96 |

CONTENIDOS DE SOLIDOS (%):

$$\% \text{ Sólidos} = (\text{Peso Seco} - \text{Tara}) / (\text{Peso de aditivo} - \text{Tara})$$

OBSERVACIONES Para que el contenido de agua fuera evaporado totalmente en los 2 aditivos, las muestras fueron tenidas en el horno durante 48 horas.

• **ADICIONES.**

Datos de la Microsilica:

- **EDECON MegaMix P**
- Según Norma ASTM C-1240
- Gravedad Específica: 2.2
- Densidad: 32 lb/pie³
- Color: Polvo Gris

4.4 DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO.

Obtenidas las propiedades o características físicas de las pruebas de laboratorio que se realizaron a los materiales que componen al Concreto de Gran Comportamiento, se procedió al diseño de mezclas de prueba de acuerdo al comité ACI 211.1-91 (Práctica estándar para seleccionar proporcionamientos de concreto normal, pesado y masivo) en base al método de volumen absoluto establecido en ese comité.

En esta investigación se elaboraron seis diseños de mezclas (A, B, y C con agregado de 3/4" (19 mm) y D, E y F con agregado de 1/2" (12.7 mm). Se establecieron relaciones A/C o A/(C+P) igual a 0.30 para las mezclas dependiendo del uso de puzolanas como la microsilica. Proponiendo éstas relaciones se determinaron las resistencias alcanzadas por el concreto a diferentes edades.

Las mezclas de prueba realizadas permitieron obtener las siguientes características, lográndose una buena combinación de los componentes en las mezclas definitivas elaboradas.

Mezclas A y D.

Estas mezclas no contienen ningún tipo de aditivo, ni adiciones, la función de éstas es que sirvieran como mezclas de referencia o control. Se seleccionó un revenimiento de 5 cm como el mínimo trabajable.

Mezclas B y E.

A éstas mezclas se les agregó aditivos reductores de agua de alto rango: Edecon Powermix 100 en un porcentaje de 0.75% en peso del contenido de cemento como reductor de agua y

superplastificante y Edecon SlumpMix-C en un porcentaje de 0.40% en peso del contenido de cemento como retardador del tiempo de fraguado para mantener alto el revenimiento alcanzado.

Mezclas C y F.

En éstas mezclas se utilizaron los mismos reductores de agua de alto rango que se usaron en las mezclas B y E pero se aumento el porcentaje (a 1.5% de Edecon PowerMix 100 y a 0.60% de Edecon Slumpmix-C) debido al reemplazo de 10% en la cantidad del cemento por la microfílica utilizada, manteniendo así los revenimientos altos.

Los diseños de las seis mezclas de concreto elaboradas se muestran a continuación y el proporcionamiento para emplearlos en las obras de construcción puede cambiar dependiendo del contenido de humedad total de los agregados utilizados.

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO

MÉTODO DE VOLUMEN ABSOLUTO ACI 211.1-91

Práctica Estándar para Seleccionar Proporcionamientos
de Concreto Normal, Pesado y Masivo.

MEZCLA " A "

1.0 INFORMACIÓN DE DISEÑO DE LA MEZCLA.

| | |
|-------------------------------|---------------------------|
| TIPO DE CEMENTO: | Portland Tipo I. |
| TIPO DE ADITIVO: | ----- |
| TIPO DE ADICIÓN: | ----- |
| TAMAÑO DE AGREGADO GRUESO: | 19.0 mm |
| RELACIÓN A/(C+P): | 0.30 |
| AGUA DE MEZCLA: | 200.0 Kg./mt ³ |
| CONTENIDO DE AIRE: (Incluido) | -----% |
| (Atrapado) | 2.0% |
| REVENIMIENTO: (Mínimo) | cm |
| (Máximo) | cm |
| (En Uso) | 5.0 cm |

2.0 PROPORCIÓN DE ADITIVOS Y ADICIONES A USAR.

| | |
|---|--------|
| Microsilica por Peso de Cemento (Megamix P) (Fw): | 0.00 % |
| Aditivo Reductor de Agua de Alto Rango Tipo "F" (Power Mix 100) (Kg./(C+P): | 0.00 % |
| Aditivo Reductor de Agua de Alto Rango Tipo "G" (Slump Mix C) (Kg/ (C+P): | 0.00 % |

3.0-a DATOS DE MATERIALES: (ARENA, GRAVA Y CEMENTO).

| MATERIALES: | ARENA | GRAVA 3/4" | CEMENTO |
|--|---------|------------|---------|
| GRAVEDAD ESPECIFICA (G.E.): | 2.47 | 2.60 | 3.15 |
| ABSORCIÓN (%): | 4.60% | 1.49% | ---- |
| PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (Kg./mt ³): | 1480.22 | 1359.80 | ---- |
| PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO (Kg./mt ³): | 1598.33 | 1432.53 | ---- |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%w): | 3.21% | 1.58% | ---- |
| MODULO DE FINURA (M.F.): | 2.65 | | ---- |

3.0-b DATOS A LOS MATERIALES (ADITIVOS Y ADICIONES)

| MATERIALES | ADITIVOS | | ADICIONES |
|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------|
| | POWERMIX 100 | SLUMPMIX C | MICROSILICA |
| GRAVEDAD ESPECIFICA: (G.E.) | ADITIVOS TIPO "F" 1.21 ± 0.01 | ADITIVOS TIPO "G" 1.25 ± 0.01 | MEGAMIX P 2.2 |
| % DE SÓLIDOS: | 43.03% | 37.96% | |

4.0 CALCULO DE LA CANTIDAD DE CEMENTO, ADICIONES Y ADITIVOS.

| | |
|--|---|
| Cemento mas Microsilica (C + P)= Agua / [(A/(C + P))]= | 200/0.30= 666.667/ Kg./mt ³ |
| Cantidad de Microsilica (C + P)*Fw = | 0.0 Kg./mt ³ |
| Cantidad de Cemento (C + P) - (C + P)*Fw= 666.67 - 0.0 = | 666.667 Kg./mt ³ |
| Cantidad de Aditivo [(% de Aditivo)*(G.E. de Aditivo)] / 100 | |
| Power Mix 100= | 0.0 Kg./mt ³ |
| Slump Mix C= | 0.0 Kg./mt ³ |

5.0 CORRECCIÓN DE AGUA DE MEZCLA POR AGUA EN ADITIVO.

| | |
|---|---------------------------------|
| Agua | 200.0 Kg./mt ³ |
| Agua en Aditivo Power Mix 100 (Agua / (1 - %Sólidos en Aditivo/100))= | - 0.00 Kg./mt ³ |
| Agua en Aditivo Slump Mix C (Agua / (1 - %Sólidos en Aditivo/100))= | - 0.00 Kg./mt ³ |
| Agua Corregida = | <u>200.0 Kg./mt³</u> |

6.0 CONTENIDO DE GRAVA POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO.

| | |
|--|--|
| Porcentaje en Volumen de Agregado Grueso: (% en Volumen)= | 0.64 |
| <u>Cantidad de Grava por Peso Unitario de Concreto:</u> (% en Volumen)*(Peso Volumétrico Varillado de la Grava) = | 0.64*1432.53 = 916.819Kg/mt ³ |

7.0 CALCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS.

| | | |
|---|--|--------------------|
| • Cemento | $[\text{Cemento} / (\text{G..E. de Cemento} * 1000)] = (666.67 \text{Kg/m}^3) / (3.15 * 1000) =$ | 0.212 m^3 |
| • Microsilica | $[\text{Microsilica} / (\text{G..E. de microsilica} * 1000)] =$ | 0.0 m^3 |
| • Grava | $[\text{Grava} / (\text{G.E. de Grava} * 1000)] = (916.819 \text{Kg/m}^3) / (2.6 * 1000) =$ | 0.353 m^3 |
| • Agua Corregida | $[\text{Agua} / (\text{G.E. de Agua} * 1000)] (200 \text{Kg/m}^3) / (1.0 * 1000) =$ | 0.200 m^3 |
| • Aditivos: | | |
| - Power Mix 100 | $[\text{Aditivo} / (\text{G.E. de Aditivo} * 1000)] =$ | 0.00 m^3 |
| - Slump Mix C | $[\text{Aditivo} / (\text{G.E. de Aditivo} * 1000)] =$ | 0.00 m^3 |
| • Aire Atrapado | $(\text{Contenido de Aire} / 100) = (2 / 100) =$ | 0.02 m^3 |
| Sub Total de Volumen = | | 0.785 m^3 |
| • Agregado Fino: (1 - Sub Total de Volumen) = | $(1 - 0.785) =$ | 0.215 m^3 |
| Total: | | 1.00 m^3 |
| <ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de Agregado Fino por Peso Unitario de Concreto: | | |
| $\text{Volumen de Agregado Fino} * \text{G.E. de Arena} * 1000 = 0.215 \text{m}^3 * 2.47 * 1000 = 535.050 \text{ Kg./ m}^3$ | | |

8.0 CORRECCIÓN DE DISEÑO ANTES DE MEZCLA DE PRUEBA DEBIDO A HUMEDAD O ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS.

| | Peso de Diseño (Kg./ m^3) | Peso Corregido (Kg./ m^3) |
|--|--|--|
| • Cemento = | 666.667 Kg./ m^3 | 666.667 Kg./ m^3 |
| • Microsilica = | 0.00 Kg./ m^3 | 0.00 Kg./ m^3 |
| • Agregado Fino: = | 531.050 Kg./ m^3 | |
| mas 3.21% de Humedad Agregado fino = | (+) 17.047 Kg./ $\text{m}^3 =$ | 548.097 Kg./ m^3 |
| • Agregado Grueso: = | 916.819 Kg./ m^3 | |
| mas 1.58% de Humedad Agregado Grueso = | (+) 14.486 Kg./ $\text{m}^3 =$ | 931.305 Kg./ m^3 |
| • Agua = | 200.0 Kg./ m^3 | |
| Menos (Contenido de Agua en Agregado Fino y Grueso): (C.H de Arena + C.H de Grava) = | $(17.047 + 14.486) \text{ Kg./ m}^3 =$ (-) 31.533 Kg./ m^3 | |
| mas 1.58% de Absorción de la Arena. | (+) 24.428 Kg./ m^3 | |
| mas 1.49% de Absorción de la Grava | (+) 13.66 Kg./ m^3 | |
| Corrección Total de Agua = | $(200 - 31.533 + 24.428 + 13.66) \text{ Kg./ m}^3$ | = 206.556 Kg./ m^3 |
| Peso Total = | | 2352.625 Kg./ m^3 |

PORCENTAJE DE AGREGADO FINO EN PESO

$$\text{Agregado Fino} / (\text{Agregado Fino} + \text{Agregado Grueso}) * 100 = 531.050 / (531.050 + 916.819) * 100 = \underline{36.678\%}$$

PORCENTAJE DE AGREGADO FINO EN VOLUMEN

$$\text{Volumen de Agregado Fino} / (\text{Volumen de Agregado Fino} + \text{Volumen de Agregado Grueso}) * 100 = 0.215 / (0.215 + 0.353) * 100 = 37.852\%$$

9.0 MEZCLA DE PRUEBA POR BOLSA DE CEMENTO EN PESO.

| | |
|-----------------|--------------------------|
| • Cemento | 42.5 Kg. ^(a) |
| • Microsilica | 0.0 Kg. |
| • Arena | 34.942 Kg ^(b) |
| • Grava | 59.372 Kg. |
| • Agua | 13.168 Kg. |
| • Aditivos: | |
| - Power Mix 100 | 0.0 cc |
| - Slump Mix C | 0.0 cc |

a - 1 Bolsa de Cemento = 42.5 Kg.

$$\begin{aligned} \text{*Total de Bolsas de Cemento: } & (\text{Cantidad de Cemento} / 42.5 \text{ Kg}) = \\ & = (666.667 \text{ Kg} / \text{m}^3) / (42.5 \text{ Kg}) = \underline{15.686 \text{ Bolsas/m}^3} \end{aligned}$$

b- Cantidad de Material para una Bolsa = Cantidad de Material Corregida por Peso / Bolsas de Cemento:

$$\text{Ejemplo: Cantidad de Arena Corregida} / \text{Bolsas de Cemento} = (548.097 \text{ Kg} / \text{m}^3) / (15.686 \text{ Bolsas/m}^3) =$$

$$\text{Cantidad de Arena en Peso para una Bolsa de Cemento.} = \underline{34.942 \text{ Kg}}$$

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO

MÉTODO DE VOLUMEN ABSOLUTO ACI 211.1-91
 Práctica Estándar para Seleccionar Proporcionamientos
 de Concreto Normal, Pesado y Masivo.

MEZCLA " B "

1.0 INFORMACIÓN DE DISEÑO DE LA MEZCLA.

| | |
|---|---|
| TIPO DE CEMENTO : (CESSA 5000) | Portland Tipo I. |
| TIPO DE ADITIVOS : a) (Power Mix 100) b) (Slump Mix C) | Reductores de Agua de Alto Rango Tipo "F" y "G" |
| TIPO DE ADICIÓN: | ----- |
| TAMAÑO DE AGREGADO GRUESO: | 19.0 mm |
| RELACIÓN A/(C+P): [(Agua / (Cemento + Microsilica)] | 0.30 |
| AGUA DE MEZCLA: | 165.0 Kg./mt ³ |
| CONTENIDO DE AIRE: (Incluido) | ----% |
| (Atrapado) | 2.0% |
| REVENIMIENTO: (Mínimo) | cm |
| (Máximo) | cm |
| (En Uso) | 21.0 cm |

2.0 PROPORCIÓN DE ADITIVOS Y ADICIONES A USAR.

| | |
|---|---------|
| Microsilica por Peso de Cemento (Megamix P) (Fw): | -----% |
| Aditivo Reductor de Agua de Alto Rango Tipo "F" (Power Mix 100) (Kg./(C+P): | 0.750 % |
| Aditivo Reductor de Agua de Alto Rango Tipo "G" (Slump Mix C) (Kg/ (C+P): | 0.438 % |

3.0-a DATOS DE MATERIALES: (ARENA, GRAVA Y CEMENTO).

| MATERIALES: | ARENA | GRAVA 3/4" | CEMENTO |
|--|---------|------------|---------|
| GRAVEDAD ESPECIFICA (G.E.): | 2.47 | 2.60 | 3.15 |
| ABSORCIÓN (%): | 4.60% | 1.49% | ---- |
| PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (Kg./mt ³): | 1480.22 | 1359.80 | ---- |
| PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO (Kg./mt ³): | 1598.33 | 1432.53 | ---- |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%w): | 3.21% | 1.58% | ---- |
| MODULO DE FINURA (M.F.): | 2.65 | ----- | ---- |

3.0-b DATOS A LOS MATERIALES (ADITIVOS Y ADICIONES)

| MATERIALES | ADITIVOS | | ADICIONES |
|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------|
| | POWERMIX 100 | SLUMPMIX C | MICROSILICA |
| GRAVEDAD ESPECIFICA: (G.E.) | ADITIVOS TIPO "F" 1.21 ± 0.01 | ADITIVOS TIPO "G" 1.25 ± 0.01 | MEGAMIX P 2.2 |
| % DE SÓLIDOS: | 43.03% | 37.96% | |

4.0 CALCULO DE LA CANTIDAD DE CEMENTO, ADICIONES Y ADITIVOS.

| | |
|---|---------------------------------------|
| Cemento mas Microsilica (C + P)= Agua / [(A/(C + P))]= | 165/0.30= 550.00/ Kg./mt ³ |
| Cantidad de Microsilica (C + P)*Fw = | 0.0 Kg./mt ³ |
| Cantidad de Cemento (C + P) - (C + P)*Fw= 550 - 0.0 = | 550.00 Kg./mt ³ |
| Cantidad de Aditivo (% de Aditivo)*(C + P)*(G.E. de Aditivo)= | |
| - Power Mix 100 = (0.750/100)*(550)*(1.21) = | 4.991 Kg./mt ³ |
| - Slump Mix C = (0.438/100)*(550)*(1.25) = | 3.011 Kg./mt ³ |

5.0 CORRECCIÓN DE AGUA DE MEZCLA POR AGUA EN ADITIVO.

| | |
|---|------------------------------|
| Agua = | 165.0 Kg./mt ³ |
| Agua en Aditivo Power Mix 100 (Agua / (1 - %Sólidos en Aditivo/100))= | - 1.868Kg./mt ³ |
| Agua en Aditivo Slump Mix C (Agua / (1 - %Sólidos en Aditivo/100))= | - 2.843Kg./mt ³ |
| Agua Corregida | = 160.289Kg./mt ³ |

6.0 CONTENIDO DE GRAVA POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO.

| | |
|---|--|
| Porcentaje en Volumen de Agregado Grueso: (% en Volumen)= | 0.64 |
| Cantidad de Grava por Peso Unitario de Concreto: (% en Volumen)*(Peso Volumétrico Varillado de la Grava) = | 0.64*1432.53 = 916.819Kg/mt ³ |

7.0 CALCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS.

| | | |
|--|--|---------------------|
| • Cemento | $[\text{Cemento} / (\text{G..E. de Cemento} * 1000)] = (550.0 \text{ Kg/m}^3) / (3.15 * 1000) =$ | 0.175 m^3 |
| • Microsilica | $[\text{Microsilica} / (\text{G..E. de microsilica} * 1000)] =$ | 0.0 m^3 |
| • Grava | $[\text{Grava} / (\text{G.E. de Grava} * 1000)] = (916.819 \text{ Kg/m}^3) / (2.6 * 1000) =$ | 0.353 m^3 |
| • Agua Corregida | $[\text{Agua} / (\text{G.E. de Agua} * 1000)] (160.289 \text{ Kg/m}^3) / (1.0 * 1000) =$ | 0.160 m^3 |
| • Aditivos: | | |
| - Power Mix 100 | $[\text{Aditivo} / (\text{G.E. de Aditivo} * 1000)] (4.911 \text{ Kg/m}^3) / (1.21 * 1000) =$ | 0.004 m^3 |
| - Slump Mix C | $[\text{Aditivo} / (\text{G.E. de Aditivo} * 1000)] (3.011 \text{ Kg/m}^3) / (1.25 * 1000) =$ | 0.0021 m^3 |
| • Aire Atrapado | $(\text{Contenido de Aire} / 100) = (2 / 100) =$ | 0.02 m^3 |
| Sub Total de Volumen = | | 0.714 m^3 |
| • Agregado Fino: (1 - Sub Total de Volumen) = | $(1 - 0.714) =$ | 0.286 m^3 |
| Total = | | 1.00 m^3 |
| <ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de Agregado Fino por Peso Unitario de Concreto: | | |
| $\text{Volumen de Agregado Fino} * \text{G.E. de Arena} * 1000 = 0.286 \text{m}^3 * 2.47 * 1000 = 706.42 \text{ Kg./ m}^3$ | | |

8.0 CORRECCIÓN DE DISEÑO ANTES DE MEZCLA DE PRUEBA DEBIDO A HUMEDAD O ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS.

| | Peso de Diseño (Kg./ m^3) | Peso Corregido (Kg./ m^3) |
|--|--|--|
| • Cemento = | 550.00 Kg./ m^3 | 550.00 Kg./ m^3 |
| • Microsilica = | 0.00 Kg./ m^3 | 0.00 Kg./ m^3 |
| • Agregado Fino: = | 706.42 Kg./ m^3 | |
| mas 3.21% de Humedad Agregado fino. = | (+) 22.676 Kg./ m^3 = | 729.096 Kg./ m^3 |
| • Agregado Grueso: = | 916.819 Kg./ m^3 | |
| mas 1.58% de Humedad Agregado Grueso = | (+) 14.486 Kg./ m^3 = | 931.305 Kg./ m^3 |
| • Agua = | 160.289 Kg./ m^3 | |
| Menos (Contenido de Agua en Agregado Fino y Grueso): (C.H de Arena + C.H de Grava) = | $(22.676 + 14.486) \text{ Kg./ m}^3 =$ (-) 37.162 Kg./ m^3 | |
| mas 4.60 % de Absorción de la Arena | (+) 32.495 Kg./ m^3 | |
| mas 1.49 % de Absorción de la Grava. | (+) 13.661 Kg./ m^3 | |
| Corrección Total de Agua = | $(160.289 - 37.162 + 32.495 + 13.661) =$ | 169.283 Kg./ m^3 |
| • Aditivo Power Mix 100 = | | 4.991 Kg./ m^3 |
| • Aditivo Slump Mix C = | | 3.011 Kg./ m^3 |
| Peso Total = | | 2387.686 Kg./ m^3 |

PORCENTAJE DE AGREGADO FINO EN PESO

$$\text{Agregado Fino} / (\text{Agregado Fino} + \text{Agregado Grueso}) * 100 = 706.42 / (706.42 + 916.819) * 100 = \underline{43.519\%}$$

PORCENTAJE DE AGREGADO FINO EN VOLUMEN

$$\text{Volumen de Agregado Fino} / (\text{Volumen de Agregado Fino} + \text{Volumen de Agregado Grueso}) * 100 = \\ 0.286 / (0.286 + 0.353) * 100 = 44.757\%$$

9.0 MEZCLA DE PRUEBA POR BOLSA DE CEMENTO EN PESO.

| | |
|-----------------|--------------------------|
| • Cemento | 42.5 Kg. ^(a) |
| • Microsilica | 0.0 Kg. |
| • Arena | 56.34 Kg. ^(b) |
| • Grava | 59.372 Kg. |
| • Agua | 13.168 Kg. |
| • Aditivos: | |
| - Power Mix 100 | 319.00 cc ^(c) |
| - Slump Mix C | 186.40 cc |

a- 1 Bolsa de Cemento = 42.5 Kg.

$$\begin{aligned} \text{*Total de Bolsas de Cemento:} & \quad (\text{Cantidad de Cemento} / 42.5 \text{ Kg}) = \\ & = (550 \text{ Kg/m}^3) / 42.5 \text{ Kg} = \underline{12.9412 \text{ Bolsas/mt}^3} \end{aligned}$$

b-Cantidad de Material para una Bolsa = Peso de Material Corregido / Bolsas de Cemento:

$$\begin{aligned} \text{Ejemplo: Cantidad de Arena Corregida / Bolsas de Cemento} & = (729.096 \text{ Kg/m}^3) / (12.9412 \text{ Bolsas/mt}^3) = \\ \text{Cantidad de Arena en Peso para una Bolsa de Cemento:} & = \underline{56.372 \text{ Kg}} \end{aligned}$$

c-Volumen de Aditivo a Medir = [Peso Aditivo/Bolsas de Cemento]*1000 / (G.E. de Aditivo).

$$\begin{aligned} \text{Ejemplo: [(Aditivo Power Mix 100) / (Bolsas/mt}^3) * 1000] / (\text{G.E. de Aditivo}) = \\ = [(4.991 \text{ Kg/m}^3) / (12.9412 \text{ Bolsas/mt}^3)] * 1000 / (1.21) = \underline{319.0 \text{ cc}} \end{aligned}$$

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO

MÉTODO DE VOLUMEN ABSOLUTO ACI 211.1-91

Práctica Estándar para Seleccionar Proporcionamientos
de Concreto Normal, Pesado y Masivo.

M E Z C L A " C "

1.0 INFORMACIÓN DE DISEÑO DE LA MEZCLA.

| | | |
|----------------------------|--|---|
| TIPO DE CEMENTO : | (CESSA 5000) | Portland Tipo I. |
| TIPO DE ADITIVOS : | a) (Power Mix 100) b) (Slump Mix C) | Reductores de Agua de Alto Rango Tipo "F" y "G" |
| TIPO DE ADICIÓN: | (Megamix P) | Microsilica |
| TAMAÑO DE AGREGADO GRUESO: | | 19.0 mm |
| RELACIÓN A/(C+P): | [(Agua / (Cemento + Microsilica)] | 0.30 |
| AGUA DE MEZCLA: | | 170.0 Kg./mt ³ |
| CONTENIDO DE AIRE: | (Incluido) | ----% |
| | (Atrapado) | 2.0% |
| REVENIMIENTO: | (Mínimo) | cm |
| | (Máximo) | cm |
| | (En Uso) | 23.0 cm |

2.0 PROPORCIÓN DE ADITIVOS Y ADICIONES A USAR.

| | |
|--|---------|
| Microsilica por Peso de Cemento (Megamix P) (Fw): | 10.00 % |
| Aditivo Reductor de Agua de Alto Rango Tipo "F" (Power Mix 100) (Kg./ (C+P): | 1.50 % |
| Aditivo Reductor de Agua de Alto Rango Tipo "G" (Slump Mix C) (Kg/ (C+P): | 0.625 % |

3.0-a DATOS DE MATERIALES: (ARENA, GRAVA Y CEMENTO).

| MATERIALES: | ARENA | GRAVA 3/4" | CEMENTO |
|--|---------|------------|---------|
| GRAVEDAD ESPECIFICA (G.E.): | 2.47 | 2.60 | 3.15 |
| ABSORCIÓN (%): | 4.60% | 1.49% | ---- |
| PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (Kg./mt ³): | 1480.22 | 1359.80 | ---- |
| PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO (Kg./mt ³): | 1598.33 | 1432.53 | ---- |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%w): | 3.21% | 1.58% | ---- |
| MODULO DE FINURA (M.F.): | 2.65 | ----- | ---- |

3.0-b DATOS A LOS MATERIALES (ADITIVOS Y ADICIONES)

| MATERIALES | ADITIVOS | | ADICIONES |
|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------|
| | POWERMIX 100 | SLUMPMIX C | MICROSILICA |
| GRAVEDAD ESPECIFICA: (G.E.) | ADITIVOS TIPO "F" 1.21 ± 0.01 | ADITIVOS TIPO "G" 1.25 ± 0.01 | MEGAMIX P 2.2 |
| % DE SÓLIDOS: | 43.03% | 37.96% | |

4.0 CALCULO DE LA CANTIDAD DE CEMENTO, ADICIONES Y ADITIVOS.

| | |
|--|---------------------------------------|
| Cemento mas Microsilica $(C + P) = \text{Agua} / [(A/(C + P))]=$ | 170/0.30=566.667/ Kg./mt ³ |
| Cantidad de Microsilica $(C + P)*Fw = 566.667*10\%=$ | 56.667 Kg./mt ³ |
| Cantidad de Cemento $(C + P) - (C + P)*Fw = 566.667 - 56.667 =$ | 510.00 Kg./mt ³ |
| Cantidad de Aditivo $(\% \text{ de Aditivo}) * (C + P) * (\text{G.E. de Aditivo}) =$ | |
| - Power Mix 100 $= (1.50 / 100) * (566.667) * (1.21) =$ | 10.285 Kg./mt ³ |
| - Slump Mix C $= (0.625 / 100) * (566.667) * (1.25) =$ | 4.427 Kg./mt ³ |

5.0 CORRECCIÓN DE AGUA DE MEZCLA POR AGUA EN ADITIVO.

| | |
|--|----------------------------|
| Agua= | 170.0 Kg./mt ³ |
| Agua en Aditivo Power Mix 100 $(\text{Agua} / (1 - \% \text{Sólidos en Aditivo}/100)) =$ | -5.859Kg./mt ³ |
| Agua en Aditivo Slump Mix C $(\text{Agua} / (1 - \% \text{Sólidos en Aditivo}/100)) =$ | - 2.747Kg/mt ³ |
| Agua Corregida = | 161.394Kg./mt ³ |

6.0 CONTENIDO DE GRAVA POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO.

| | |
|--|---------------------------|
| Porcentaje en Volumen de Agregado Grueso: $(\% \text{ en Volumen}) =$ | 0.64 |
| Cantidad de Grava por Peso Unitario de Concreto: $(\% \text{ en Volumen}) * (\text{Peso Volumétrico Varillado de la Grava}) = 0.64 * 1432.53 =$ | 916.819Kg/mt ³ |

7.0 CALCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS.

| | | |
|---|--|-----------------------|
| • Cemento | $[\text{Cemento} / (\text{G..E. de Cemento} * 1000)] = (510.0 \text{ Kg/m}^3) / (3.15 * 1000) =$ | 0.162 mt ³ |
| • Microsilica | $[\text{Microsilica} / (\text{G..E. de microsilica} * 1000)] = (56.667 \text{ Kg/m}^3) / (2.2 * 1000) =$ | 0.026 mt ³ |
| • Grava | $[\text{Grava} / (\text{G.E. de Grava} * 1000)] = (916.819 \text{ Kg/m}^3) / (2.6 * 1000) =$ | 0.353 mt ³ |
| • Agua Corregida | $[\text{Agua} / (\text{G.E. de Agua} * 1000)] = (161.394 \text{ Kg/m}^3) / (1.0 * 1000) =$ | 0.161 mt ³ |
| • Aditivos: | | |
| - Power Mix 100 | $[\text{Aditivo} / (\text{G.E. de Aditivo} * 1000)] = (10.285 \text{ Kg/m}^3) / (1.21 * 1000) =$ | 0.009 mt ³ |
| - Slump Mix C | $[\text{Aditivo} / (\text{G.E. de Aditivo} * 1000)] = (4.427 \text{ Kg/m}^3) / (1.25 * 1000) =$ | 0.004 m ³ |
| • Aire Atrapado | $(\text{Contenido de Aire} / 100) = (2 / 100) =$ | 0.02 mt ³ |
| Sub Total de Volumen = | | 0.735 mt ³ |
| • Agregado Fino: (1 - Sub Total de Volumen) = | $(1 - 0.735) =$ | 0.265 mt ³ |
| Total = | | 1.00 mt ³ |
| <ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de Agregado Fino por Peso Unitario de Concreto: | | |
| Volumen de Agregado Fino * G.E. de Arena * 1000 = $0.265 \text{ mt}^3 * 2.47 * 1000 = 654.55 \text{ Kg./ mt}^3$ | | |

8.0 CORRECCIÓN DE DISEÑO ANTES DE MEZCLA DE PRUEBA DEBIDO A HUMEDAD O ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS.

| | Peso de Diseño (Kg./ mt ³) | Peso Corregido (Kg./ mt ³) |
|--|--|---|
| • Cemento = | 510.00 Kg./ mt ³ | 510.00 Kg./ mt ³ |
| • Microsilica = | 56.667 Kg./ mt ³ | 56.667 Kg./ mt ³ |
| • Agregado Fino: = | 654.55 Kg./ mt ³ | |
| mas 3.21% de Humedad Agregado fino. = | (+) 21.011 Kg./ mt ³ = | 675.561 Kg./ mt ³ |
| • Agregado Grueso: = | 916.819 Kg./ mt ³ | |
| mas 1.58% de Humedad Agregado Grueso = | (+) 14.486 Kg./ mt ³ = | 931.305 Kg./ mt ³ |
| • Agua = | 161.394 Kg./ mt ³ | |
| Menos (Contenido de Agua en Agregado Fino y Grueso): (C.H de Arena + C.H de Grava) = | $(21.011 + 14.486) \text{ Kg./ mt}^3 =$ (-) 35.497 Kg./ mt ³ | |
| mas 4.60 % de Absorción de la Arena | (+) 30.109 Kg./ mt ³ | |
| mas 1.49 % de Absorción de la Grava | (+) 13.661 Kg./ mt ³ | |
| Corrección Total de Agua. = | $(160.289 - 35.497 + 30.109 + 13.661) =$ | 169.667 Kg./ mt ³ |
| • Aditivo Power Mix 100 = | | 10.285 Kg./ mt ³ |
| • Aditivo Slump Mix C = | | 4.427 Kg./ mt ³ |
| Peso Total = | | 2357.9121 Kg./ mt ³ |

PORCENTAJE DE AGREGADO FINO EN PESO

$$\text{Agregado Fino} / (\text{Agregado Fino} + \text{Agregado Grueso}) * 100 = 654.55 / (654.55 + 916.819) * 100 = \underline{41.655\%}$$

PORCENTAJE DE AGREGADO FINO EN VOLUMEN

$$\text{Volumen de Agregado Fino} / (\text{Volumen de Agregado Fino} + \text{Volumen de Agregado Grueso}) * 100 = \\ 0.265 / (0.265 + 0.353) * 100 = \underline{42.88\%}$$

9.0 MEZCLA DE PRUEBA POR BOLSA DE CEMENTO EN PESO.

| | |
|-----------------|---------------------------|
| • Cemento | 42.5 Kg. ^(a) |
| • Microsilica | 4.72 Kg. |
| • Arena | 56.297 Kg. ^(b) |
| • Grava | 77.609 Kg. |
| • Agua | 14.139 Kg. |
| • Aditivos: | |
| - Power Mix 100 | 708.26 cc ^(c) |
| - Slump Mix C | 295.20 cc |

a- 1 Bolsa de Cemento = 42.5 Kg.

$$\begin{aligned} \text{*Total de Bolsas de Cemento:} & \quad (\text{Cantidad de Cemento} / 42.5 \text{ Kg}) = \\ & = (510 \text{ Kg/m}^3) / 42.5 \text{ Kg} = \underline{12.00 \text{ Bolsas/mt}^3} \end{aligned}$$

b-Cantidad de Material para una Bolsa = Cantidad de Material Corregida por Peso / Bolsas de Cemento:

$$\text{Ejemplo: Cantidad de Arena Corregida} / \text{Bolsas de Cemento} = (675.561 \text{ Kg/m}^3) / (12.0 \text{ Bolsas/mt}^3) =$$

$$\text{Cantidad de Arena en Peso para una Bolsa de Cemento:} = \underline{56.297 \text{ Kg}}$$

c-Volumen de Aditivo a Medir = [Peso Aditivo/Bolsas de Cemento]*1000 / (G.E. de Aditivo).

$$\text{Ejemplo:} [(\text{Aditivo Power Mix 100}) / (\text{Bolsas/mt}^3) * 1000] / (\text{G.E. de Aditivo}) =$$

$$= [(10.285 \text{ Kg/m}^3) / (12.00 \text{ Bolsas/mt}^3)] * 1000 / (1.21) = \underline{708.26 \text{ cc}}$$

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO

MÉTODO DE VOLUMEN ABSOLUTO ACI 211.1-91

Práctica Estándar para Seleccionar Proporcionamientos
 de Concreto Normal, Pesado y Masivo.

MEZCLA " D "

1.0 INFORMACIÓN DE DISEÑO DE LA MEZCLA.

| | |
|-------------------------------|---------------------------|
| TIPO DE CEMENTO: | Portland Tipo I. |
| TIPO DE ADITIVO: | ----- |
| TIPO DE ADICIÓN: | ----- |
| TAMAÑO DE AGREGADO GRUESO: | 12.50 mm |
| RELACIÓN A/(C+P): | 0.30 |
| AGUA DE MEZCLA: | 200.0 Kg./mt ³ |
| CONTENIDO DE AIRE: (Incluido) | -----% |
| (Atrapado) | 2.50% |
| REVENIMIENTO: (Mínimo) | cm |
| (Máximo) | cm |
| (En Uso) | 5.0 cm |

2.0 PROPORCIÓN DE ADITIVOS Y ADICIONES A USAR.

| | |
|---|--------|
| Microsilica por Peso de Cemento (Megamix P) (Fw): | 0.00 % |
| Aditivo Reductor de Agua de Alto Rango Tipo "F" (Power Mix 100) (Kg./(C+P): | 0.00 % |
| Aditivo Reductor de Agua de Alto Rango Tipo "G" (Slump Mix C) (Kg/ (C+P): | 0.00 % |

3.0-a DATOS DE MATERIALES: (ARENA, GRAVA Y CEMENTO).

| MATERIALES: | ARENA | GRAVA 1/2" | CEMENTO |
|--|---------|------------|---------|
| GRAVEDAD ESPECIFICA (G.E.): | 2.47 | 2.56 | 3.15 |
| ABSORCIÓN (%): | 4.60% | 1.97% | ---- |
| PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (Kg./mt ³): | 1480.22 | 1376.42 | ---- |
| PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO (Kg./mt ³): | 1598.33 | 1510.30 | ---- |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%w): | 3.21% | 2.81% | ---- |
| MODULO DE FINURA (M.F.): | 2.65 | | ---- |

3.0-b DATOS A LOS MATERIALES (ADITIVOS Y ADICIONES)

| MATERIALES | ADITIVOS | | ADICIONES |
|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------|
| | POWERMIX 100 | SLUMPMIX C | MICROSILICA |
| GRAVEDAD ESPECIFICA: (G.E.) | ADITIVOS TIPO "F" 1.21 ± 0.01 | ADITIVOS TIPO "G" 1.25 ± 0.01 | MEGAMIX P 2.2 |
| % DE SÓLIDOS: | 43.03% | 37.96% | |

4.0 CALCULO DE LA CANTIDAD DE CEMENTO, ADICIONES Y ADITIVOS.

| | |
|--|--|
| Cemento mas Microsilica $(C + P) = \text{Agua} / [(A/(C + P))]=$ | 200/0.30= 666.667/ Kg./mt ³ |
| Cantidad de Microsilica $(C + P)*Fw =$ | 0.0 Kg./mt ³ |
| Cantidad de Cemento $(C + P) - (C + P)*Fw = 666.67 - 0.00 =$ | 666.667 Kg./mt ³ |
| Cantidad de Aditivo $(\% \text{ de Aditivo})*(C + P)*(G.E. \text{ de Aditivo})=$ | |
| Power Mix 100 = | 0.0 Kg./mt ³ |
| Slump Mix C = | 0.0 Kg./mt ³ |

5.0 CORRECCIÓN DE AGUA DE MEZCLA POR AGUA EN ADITIVO.

| | |
|---|----------------------------|
| Agua = | 200.0 Kg./mt ³ |
| Agua en Aditivo Power Mix 100 $(\text{Agua} / (1 - \% \text{Sólidos en Aditivo}/100))=$ | - 0.00 Kg./mt ³ |
| Agua en Aditivo Slump Mix C $(\text{Agua} / (1 - \% \text{Sólidos en Aditivo}/100))=$ | - 0.00 Kg./mt ³ |
| Agua Corregida = | 200.0 Kg./mt ³ |

6.0 CONTENIDO DE GRAVA POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO.

| | |
|---|---------------------------|
| Porcentaje en Volumen de Agregado Grueso: (% en Volumen) = | 0.57 |
| <u>Cantidad de Grava por Peso Unitario de Concreto:</u> $(\% \text{ en Volumen})*(\text{Peso Volumétrico Varillado de la Grava}) = 0.57*1510.30 =$ | 860.871Kg/mt ³ |

7.0 . CALCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS.

| | | |
|--|---|--------------------|
| • Cemento | $[\text{Cemento} / (\text{G.E. de Cemento} * 1000)] = (666.67 \text{Kg/m}^3) / (3.15 * 1000) =$ | 0.212 m^3 |
| • Microsilica | $[\text{Microsilica} / (\text{G.E. de microsilica} * 1000)] =$ | 0.0 m^3 |
| • Grava | $[\text{Grava} / (\text{G.E. de Grava} * 1000)] = (860.871 \text{Kg/m}^3) / (2.56 * 1000) =$ | 0.336 m^3 |
| • Agua Corregida | $[\text{Agua} / (\text{G.E. de Agua} * 1000)] (200 \text{Kg/m}^3) / (1.0 * 1000) =$ | 0.200 m^3 |
| • Aditivos: | | |
| - Power Mix 100 | $[\text{Aditivo} / (\text{G.E. de Aditivo} * 1000)] =$ | 0.00 m^3 |
| - Slump Mix C | $[\text{Aditivo} / (\text{G.E. de Aditivo} * 1000)] =$ | 0.00 m^3 |
| • Aire Atrapado | $(\text{Contenido de Aire} / 100) = (2 / 100) =$ | 0.025 m^3 |
| Sub Total de Volumen = | | 0.773 m^3 |
| • Agregado Fino: $(1 - \text{Sub Total de Volumen}) = (1 - 0.773) =$ | | 0.227 m^3 |
| Total: | | 1.00 m^3 |
| <ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de Agregado Fino por Peso Unitario de Concreto: | | |
| Volumen de Agregado Fino * G.E. de Arena * 1000 = $0.227 \text{m}^3 * 2.47 * 1000 = 560.69 \text{Kg./m}^3$ | | |

8.0 CORRECCIÓN DE DISEÑO ANTES DE MEZCLA DE PRUEBA DEBIDO A HUMEDAD O ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS.

| | Peso de Diseño (Kg./ m^3) | Peso Corregido (Kg./ m^3) |
|--|---|--|
| • Cemento = | 666.667 Kg./ m^3 | 666.667 Kg./ m^3 |
| • Microsilica = | 0.00 Kg./ m^3 | 0.00 Kg./ m^3 |
| • Agregado Fino: = | 560.69 Kg./ m^3 | |
| mas 3.21% de Humedad Agregado fino: = | (+) 17.998 Kg./ m^3 = | 578.688 Kg./ m^3 |
| • Agregado Grueso: = | 860.871 Kg./ m^3 | |
| mas 2.81% de Humedad Agregado Grueso = | (+) 24.19 Kg./ m^3 = | 885.061 Kg./ m^3 |
| • Agua = | 200.0 Kg./ m^3 | |
| Menos (Contenido de Agua en Agregado Fino y Grueso): (C.H de Arena + C.H de Grava) = | $(17.998 + 24.19) \text{Kg./m}^3 =$ | |
| mas 4.60% de Absorción de la Arena. | (-) 42.188 Kg./ m^3 | |
| mas 1.97% de Absorción de la Grava | (+) 25.792 Kg./ m^3 | |
| Corrección Total de Agua = | $(200 - 42.188 + 25.792 + 16.959) \text{Kg./m}^3$ | = 200.563 Kg./ m^3 |
| Peso Total = | | 2330.979 Kg./ m^3 |

PORCENTAJE DE AGREGADO FINO EN PESO

$$\text{Agregado Fino} / (\text{Agregado Fino} + \text{Agregado Grueso}) * 100 = 560.69 / (560.69 + 860.871) * 100 = \underline{39.442\%}$$

PORCENTAJE DE AGREGADO FINO EN VOLUMEN

$$\text{Volumen de Agregado Fino} / (\text{Volumen de Agregado Fino} + \text{Volumen de Agregado Grueso}) * 100 = \\ 0.227 / (0.227 + 0.336) * 100 = 40.32\%$$

9.0 MEZCLA DE PRUEBA POR BOLSA DE CEMENTO EN PESO.

| | |
|-----------------|--------------------------|
| • Cemento | 42.5 Kg. ^(a) |
| • Microsilica | 0.0 Kg. |
| • Arena | 36.892 Kg ^(b) |
| • Grava | 56.424 Kg |
| • Agua | 12.786 Kg. |
| • Aditivos: | |
| - Power Mix 100 | 0.0 cc |
| - Slump Mix C | 0.0 cc |

a - 1 Bolsa de Cemento = 42.5 Kg.

*Total de Bolsas de Cemento: (Cantidad de Cemento / 42.5 Kg)=

$$= (666.667 \text{ Kg} / \text{m}^3) / (42.5 \text{ Kg}) = \underline{15.686 \text{ Bolsas/m}^3}$$

b- Peso de Material para una Bolsa = (Cantidad de Material Corregido en Peso) / (Bolsas de Cemento/m³)

Ejemplo: Peso de Arena Corregida /Bolsas de Cemento= (578.688 Kg /m³) / (15.686Bolsas/m³)=

$$\text{Cantidad de Arena en Peso para una Bolsa de Cemento.} = \underline{36.892 \text{ Kg.}}$$

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO

MÉTODO DE VOLUMEN ABSOLUTO ACI 211.1-91

Práctica Estándar para Seleccionar Proporcionamientos
de Concreto Normal, Pesado y Masivo.

MEZCLA " E "

1.0 INFORMACIÓN DE DISEÑO DE LA MEZCLA.

| | |
|---|---|
| TIPO DE CEMENTO : (CESSA 5000) | Portland Tipo I. |
| TIPO DE ADITIVOS : a) (Power Mix 100) b) (Slump Mix C) | Reductores de Agua de Alto Rango Tipo "F" y "G" |
| TIPO DE ADICIÓN: | ----- |
| TAMAÑO DE AGREGADO GRUESO: | 12.50 mm |
| RELACIÓN A/(C+P): [(Agua / (Cemento + Microsilica)] | 0.30 |
| AGUA DE MEZCLA: | 165.0 Kg./mt ³ |
| CONTENIDO DE AIRE: (Incluido) | ----% |
| (Atrapado) | 2.50% |
| REVENIMIENTO: (Mínimo) | cm |
| (Máximo) | cm |
| (En Uso) | 25.00 cm |

2.0 PROPORCIÓN DE ADITIVOS Y ADICIONES A USAR.

| | |
|--|---------|
| Microsilica por Peso de Cemento (Megamix P). (Fw): | ----- % |
| Aditivo Reductor de Agua de Alto Rango Tipo "F" (Power Mix 100) (Kg./ (C+P): | 0.75 % |
| Aditivo Reductor de Agua de Alto Rango Tipo "G" (Slump Mix C) (Kg/ (C+P): | 0.438 % |

3.0-a DATOS DE MATERIALES: (ARENA, GRAVA Y CEMENTO).

| MATERIALES: | ARENA | GRAVA 1/2" | CEMENTO |
|--|---------|------------|---------|
| GRAVEDAD ESPECIFICA (G.E.): | 2.47 | 2.56 | 3.15 |
| ABSORCIÓN (%): | 4.60% | 1.97% | ---- |
| PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (Kg./mt ³): | 1480.22 | 1376.42 | ---- |
| PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO (Kg./mt ³): | 1598.33 | 1510.30 | ---- |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%w): | 3.21% | 2.81% | ---- |
| MODULO DE FINURA (M.F.): | 2.65 | ----- | ---- |

3.0-b DATOS A LOS MATERIALES (ADITIVOS Y ADICIONES)

| MATERIALES | ADITIVOS | | ADICIONES |
|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------|
| | POWERMIX 100 | SLUMPMIX C | MICROSILICA |
| GRAVEDAD ESPECIFICA: (G.E.) | ADITIVOS TIPO "F" 1.21 ± 0.01 | ADITIVOS TIPO "G" 1.25 ± 0.01 | MEGAMIX P 2.2 |
| % DE SÓLIDOS: | 43.03% | 37.96% | |

4.0 CALCULO DE LA CANTIDAD DE CEMENTO, ADICIONES Y ADITIVOS.

| | |
|--|---------------------------------------|
| Cemento mas Microsilica $(C + P) = \text{Agua} / [(A/(C + P))]=$ | $165/0.30 = 550.00 / \text{Kg./mt}^3$ |
| Cantidad de Microsilica $(C + P) * F_w =$ | 0.0 Kg./mt^3 |
| Cantidad de Cemento $(C + P) - (C + P) * F_w = 550 - 0.0 =$ | 550.00 Kg./mt^3 |
| Cantidad de Aditivo $(\% \text{ de Aditivo}) * (C + P) * (\text{G.E. de Aditivo}) =$ | |
| - Power Mix 100 $= (0.750/100) * (550) * (1.21) =$ | 4.991 Kg./mt^3 |
| - Slump Mix C $= (0.438/100) * (550) * (1.25) =$ | 3.011 Kg./mt^3 |

5.0 CORRECCIÓN DE AGUA DE MEZCLA POR AGUA EN ADITIVO.

| | |
|--|------------------------------|
| Agua = | 165.0 Kg./mt^3 |
| Agua en Aditivo Power Mix 100 $(\text{Agua} / (1 - \% \text{Sólidos en Aditivo}/100)) =$ | -1.868 Kg./mt^3 |
| Agua en Aditivo Slump Mix C $(\text{Agua} / (1 - \% \text{Sólidos en Aditivo}/100)) =$ | -2.843 Kg./mt^3 |
| Agua Corregida | $= 160.289 \text{ Kg./mt}^3$ |

6.0 CONTENIDO DE GRAVA POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO.

| | |
|--|----------------------------|
| Porcentaje en Volumen de Agregado Grueso: $(\% \text{ en Volumen}) =$ | 0.57 |
| Cantidad de Grava por Peso Unitario de Concreto: $(\% \text{ en Volumen}) * (\text{Peso Volumétrico Varillado de la Grava}) = 0.57 * 1510.30 =$ | 860.871 Kg./mt^3 |

7.0 CALCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS.

| | | |
|--|---|---------------------|
| • Cemento | $[\text{Cemento} / (\text{G.E. de Cemento} * 1000)] = (550.0 \text{ Kg/m}^3) / (3.15 * 1000) =$ | 0.175 m^3 |
| • Microsilica | $[\text{Microsilica} / (\text{G.E. de microsilica} * 1000)] =$ | 0.0 m^3 |
| • Grava | $[\text{Grava} / (\text{G.E. de Grava} * 1000)] = (860.871 \text{ Kg/m}^3) / (2.56 * 1000) =$ | 0.336 m^3 |
| • Agua Corregida | $[\text{Agua} / (\text{G.E. de Agua} * 1000)] (160.289 \text{ Kg/m}^3) / (1.0 * 1000) =$ | 0.160 m^3 |
| • Aditivos: | | |
| - Power Mix 100 | $[\text{Aditivo} / (\text{G.E. de Aditivo} * 1000)] (4.911 \text{ Kg/m}^3) / (1.21 * 1000) =$ | 0.004 m^3 |
| - Slump Mix C | $[\text{Aditivo} / (\text{G.E. de Aditivo} * 1000)] (3.011 \text{ Kg/m}^3) / (1.25 * 1000) =$ | 0.0021 m^3 |
| • Aire Atrapado | $(\text{Contenido de Aire} / 100) = (2.5 / 100) =$ | 0.025 m^3 |
| Sub Total de Volumen = | | 0.702 m^3 |
| • Agregado Fino: (1 - Sub Total de Volumen) = | $(1 - 0.702) =$ | 0.298 m^3 |
| Total = | | 1.00 m^3 |
| <ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de Agregado Fino por Peso Unitario de Concreto: | | |
| Volumen de Agregado Fino * G.E. de Arena * 1000 = $0.298 \text{m}^3 * 2.47 * 1000 = 736.06 \text{ Kg./m}^3$ | | |

8.0 CORRECCIÓN DE DISEÑO ANTES DE MEZCLA DE PRUEBA DEBIDO A HUMEDAD O ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS.

| | Peso de Diseño (Kg./ m^3) | Peso Corregido (Kg./ m^3) |
|--|--|--|
| • Cemento = | 550.00 Kg./ m^3 | 550.00 Kg./ m^3 |
| • Microsilica = | 0.00 Kg./ m^3 | 0.00 Kg./ m^3 |
| • Agregado Fino: = | 736.06 Kg./ m^3 | |
| mas 3.21% de Humedad Agregado fino = | (+) 23.628 Kg./ $\text{m}^3 =$ | 759.688 Kg./ m^3 |
| • Agregado Grueso: = | 860.871 Kg./ m^3 | |
| mas 2.81% de Humedad Agregado Grueso = | (+) 24.19 Kg./ $\text{m}^3 =$ | 885.061 Kg./ m^3 |
| • Agua = | 160.289 Kg./ m^3 | |
| Menos (Contenido de Agua en Agregado Fino y Grueso): (C.H de Arena + C.H de Grava) = | $(23.628 + 24.19) \text{ Kg./m}^3 =$ (-) 47.818 Kg./ m^3 | |
| mas 4.60 % de Absorción de la Arena | (+) 33.859 Kg./ m^3 | |
| mas 1.97 % de Absorción de la Grava | (+) 16.959 Kg./ m^3 | |
| Corrección Total de Agua = | $(160.289 - 47.818 + 33.859 + 16.959) =$ | 163.289 Kg./ m^3 |
| • Aditivo Power Mix 100 = | | 4.991 Kg./ m^3 |
| • Aditivo Slump Mix C = | | 3.011 Kg./ m^3 |
| Peso Total = | | 2366.04 Kg./ m^3 |

PORCENTAJE DE AGREGADO FINO EN PESO

$$\text{Agregado Fino} / (\text{Agregado Fino} + \text{Agregado Grueso}) * 100 = 736.06 / (736.06 + 860.871) * 100 = \underline{46.092\%}$$

PORCENTAJE DE AGREGADO FINO EN VOLUMEN

$$\text{Volumen de Agregado Fino} / (\text{Volumen de Agregado Fino} + \text{Volumen de Agregado Grueso}) * 100 = \\ 0.298 / (0.298 + 0.336) * 100 = 47.003\%$$

9.0 MEZCLA DE PRUEBA POR BOLSA DE CEMENTO EN PESO.

| | |
|-----------------|--------------------------|
| • Cemento | 42.5 Kg. ^(a) |
| • Microsilica | 0.0 Kg. |
| • Arena | 58.70 Kg. ^(b) |
| • Grava | 68.39 Kg. |
| • Agua | 12.62 Kg. |
| • Aditivos: | |
| - Power Mix 100 | 319.00 cc ^(c) |
| - Slump Mix C | 186.40 cc |

a- 1 Bolsa de Cemento = 42.5 Kg.

$$\begin{aligned} \text{*Total de Bolsas de Cemento: } & (\text{Cantidad de Cemento} / 42.5 \text{ Kg}) = \\ & = (550 \text{ Kg/m}^3) / 42.5 \text{ Kg} = \underline{12.9412 \text{ Bolsas/mt}^3} \end{aligned}$$

b-Cantidad de Material para una Bolsa = Peso de Material Corregido / Bolsas de Cemento:

$$\begin{aligned} \text{Ejemplo: Cantidad de Arena Corregida} / \text{Bolsas de Cemento} &= (759.688 \text{ Kg/m}^3) / (12.9412 \text{ Bolsas/mt}^3) = \\ \text{Cantidad de Arena en Peso para una Bolsa de Cemento:} &= \underline{58.70 \text{ Kg}} \end{aligned}$$

c-Volumen de Aditivo a Medir = [Peso Aditivo/Bolsas de Cemento]*1000 / (G.E. de Aditivo).

$$\begin{aligned} \text{Ejemplo: [(Aditivo Power Mix 100) / (Bolsas/mt}^3) * 1000] / (\text{G.E. de Aditivo}) &= \\ = [(4.991 \text{ Kg/m}^3) / (12.9412 \text{ Bolsas/mt}^3)] * 1000 / (1.21) &= \underline{319.00 \text{ cc}} \end{aligned}$$

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO

MÉTODO DE VOLUMEN ABSOLUTO ACI 211.1-91

Practica Estándar para Seleccionar Proporcionamiento
 de Concreto Normal, Pesado y Masivo.

MEZCLA " F "

1.0 INFORMACIÓN DE DISEÑO DE LA MEZCLA.

| | | |
|----------------------------|--|---|
| TIPO DE CEMENTO : | (CESSA 5000) | Portland Tipo I. |
| TIPO DE ADITIVOS : | a) (Power Mix 100) b) (Slump Mix C) | Reductores de Agua de Alto Rango Tipo "F" y "G" |
| TIPO DE ADICIÓN: | (Megamix P) | Microsilica |
| TAMAÑO DE AGREGADO GRUESO: | | 12.50 mm |
| RELACIÓN A/(C+P): | [(Agua / (Cemento + Microsilica)] | 0.30 |
| AGUA DE MEZCLA: | | 170.0 Kg./mt ³ |
| CONTENIDO DE AIRE: | (Incluido) | ----% |
| | (Atrapado) | 2.50% |
| REVENIMIENTO: | (Mínimo) | cm |
| | (Máximo) | cm |
| | (En Uso) | 23.0 cm |

2.0 PROPORCIÓN DE ADITIVOS Y ADICIONES A USAR.

| | |
|---|---------|
| Microsilica por Peso de Cemento (Megamix P) (Fw): | 10.00 % |
| Aditivo Reductor de Agua de Alto Rango Tipo "F" (Power Mix 100) (Kg./(C+P): | 1.563% |
| Aditivo Reductor de Agua de Alto Rango Tipo "G" (Slump Mix C) (Kg/ (C+P): | 0.688% |

3.0-a DATOS DE MATERIALES: (ARENA, GRAVA Y CEMENTO).

| MATERIALES: | ARENA | GRAVA 1/2" | CEMENTO |
|--|---------|------------|---------|
| GRAVEDAD ESPECÍFICA (G.E.): | 2.47 | 2.56 | 3.15 |
| ABSORCIÓN (%): | 4.60% | 1.97% | ---- |
| PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (Kg./mt ³): | 1480.22 | 1376.42 | ---- |
| PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO (Kg./mt ³): | 1598.33 | 1510.30 | ---- |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%w): | 3.21% | 2.81% | ---- |
| MODULO DE FINURA (M.F.): | 2.65 | ----- | ---- |

3.0-b DATOS A LOS MATERIALES (ADITIVOS Y ADICIONES)

| MATERIALES | ADITIVOS | | ADICIONES |
|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------|
| | POWERMIX 100 | SLUMPMIX C | MICROSILICA |
| GRAVEDAD ESPECIFICA: (G.E.) | ADITIVOS TIPO "F" 1.21 ± 0.01 | ADITIVOS TIPO "G" 1.25 ± 0.01 | MEGAMIX P 2.2 |
| % DE SÓLIDOS: | 43.03% | 37.96% | |

4.0 CALCULO DE LA CANTIDAD DE CEMENTO, ADICIONES Y ADITIVOS.

| | |
|--|-------------------------------------|
| Cemento mas Microsilica $(C + P) = \text{Agua} / [(A/(C + P))]=$ | $170/0.30=566.667/ \text{Kg./mt}^3$ |
| Cantidad de Microsilica $(C + P)*Fw = 566.667*10\%=$ | 56.667 Kg./mt^3 |
| Cantidad de Cemento $(C + P) - (C + P)*Fw = 566.667-56.667=$ | 510.00 Kg./mt^3 |
| Cantidad de Aditivo $(\% \text{ de Aditivo}) * (C + P) * (\text{G.E. de Aditivo}) =$ | |
| - Power Mix 100 $= (1.563/100) * (566.667) * (1.21) =$ | 10.717 Kg./mt^3 |
| - Slump Mix C $= (0.688 /100) * (566.667) * (1.25) =$ | 4.873 Kg./mt^3 |

5.0 CORRECCIÓN DE AGUA DE MEZCLA POR AGUA EN ADITIVO.

| | |
|--|------------------------------|
| Agua= | 170.0 Kg./mt^3 |
| Agua en Aditivo Power Mix 100 $(\text{Agua} / (1 - \% \text{Sólidos en Aditivo}/100)) =$ | -6.105 Kg./mt^3 |
| Agua en Aditivo Slump Mix C $(\text{Agua} / (1 - \% \text{Sólidos en Aditivo}/100)) =$ | $- 3.023 \text{ Kg./mt}^3$ |
| Agua Corregida | $= 160.872 \text{ Kg./mt}^3$ |

6.0 CONTENIDO DE GRAVA POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO.

| | |
|--|----------------------------|
| Porcentaje en Volumen de Agregado Grueso: $(\% \text{ en Volumen}) =$ | 0.57 |
| Cantidad de Grava por Peso Unitario de Concreto: $(\% \text{ en Volumen}) * (\text{Peso Volumétrico Varillado de la Grava}) = 0.57 * 1510.30 =$ | 860.871 Kg./mt^3 |

7.0 CALCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS.

| | | |
|---|---|--------------------|
| • Cemento | $[\text{Cemento} / (\text{G.E. de Cemento} * 1000)] = (510.0 \text{ Kg/m}^3) / (3.15 * 1000) =$ | 0.162 m^3 |
| • Microsilica | $[\text{Microsilica} / (\text{G.E. de microsilica} * 1000)] = (56.667 \text{ Kg/m}^3) / (2.2 * 1000) =$ | 0.026 m^3 |
| • Grava | $[\text{Grava} / (\text{G.E. de Grava} * 1000)] = (860.871 \text{ Kg/m}^3) / (2.56 * 1000) =$ | 0.336 m^3 |
| • Agua Corregida | $[\text{Agua} / (\text{G.E. de Agua} * 1000)] = (160.872 \text{ Kg/m}^3) / (1.0 * 1000) =$ | 0.161 m^3 |
| • Aditivos: | | |
| - Power Mix 100 | $[\text{Aditivo} / (\text{G.E. de Aditivo} * 1000)] = (10.717 \text{ Kg/m}^3) / (1.21 * 1000) =$ | 0.009 m^3 |
| - Slump Mix C | $[\text{Aditivo} / (\text{G.E. de Aditivo} * 1000)] = (4.873 \text{ Kg/m}^3) / (1.25 * 1000) =$ | 0.004 m^3 |
| • Aire Atrapado | $(\text{Contenido de Aire} / 100) = (2.5 / 100) =$ | 0.025 m^3 |
| Sub Total de Volumen = | | 0.723 m^3 |
| • Agregado Fino: (1 - Sub Total de Volumen) = | $(1 - 0.723) =$ | 0.277 m^3 |
| Total = | | 1.00 m^3 |
| <ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de Agregado Fino por Peso Unitario de Concreto: | | |
| Volumen de Agregado Fino * G.E. de Arena * 1000 = 0.277 m^3 * 2.47 * 1000 = 684.19 Kg./ m^3 | | |

8.0 CORRECCIÓN DE DISEÑO ANTES DE MEZCLA DE PRUEBA DEBIDO A HUMEDAD O ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS.

| | Peso de Diseño (Kg./ m^3) | Peso Corregido (Kg./ m^3) |
|--|---|--|
| • Cemento = | 510.00 Kg./ m^3 | 510.00 Kg./ m^3 |
| • Microsilica = | 56.667 Kg./ m^3 | 56.667 Kg./ m^3 |
| • Agregado Fino: = | 684.19 Kg./ m^3 | |
| mas 3.21% de Humedad Agregado fino. = | (+) 21.962 Kg./ m^3 = | 706.152 Kg./ m^3 |
| • Agregado Grueso: = | 860.871 Kg./ m^3 | |
| mas 2.81% de Humedad Agregado Grueso = | (+) 24.19 Kg./ m^3 = | 885.061 Kg./ m^3 |
| • Agua = | 160.872 Kg./ m^3 | |
| Menos (Contenido de Agua en Agregado Fino y Grueso): (C.H de Arena + C.H de Grava) = | $(21.962 + 24.19) \text{ Kg./ } \text{m}^3 =$ (-) 46.152 Kg./ m^3 | |
| mas 4.60 % de Absorción de la Arena | (+) 31.473 Kg./ m^3 | |
| mas 1.97 % de Absorción de la Grava | (+) 16.959 Kg./ m^3 | |
| Corrección Total de Agua = | $(160.872 - 46.152 + 31.473 + 16.959) =$ | 163.152 Kg./ m^3 |
| • Aditivo Power Mix 100 = | | 10.717 Kg./ m^3 |
| • Aditivo Slump Mix C = | | 4.873 Kg./ m^3 |
| Peso Total = | | 2336.622 Kg./ m^3 |

PORCENTAJE DE AGREGADO FINO EN PESO

$$\text{Agregado Fino} / (\text{Agregado Fino} + \text{Agregado Grueso}) * 100 = 684.19 / (684.19 + 860.871) * 100 = \underline{44.282\%}$$

PORCENTAJE DE AGREGADO FINO EN VOLUMEN

$$\text{Volumen de Agregado Fino} / (\text{Volumen de Agregado Fino} + \text{Volumen de Agregado Grueso}) * 100 = \\ 0.277 / (0.277 + 0.336) * 100 = \underline{45.188\%}$$

9.0 MEZCLA DE PRUEBA POR BOLSA DE CEMENTO EN PESO.

| | |
|-----------------|--------------------------|
| • Cemento | 42.5 Kg. ^(a) |
| • Microsilica | 4.722 Kg. |
| • Arena | 58.85 Kg ^(b) |
| • Grava | 73.76 Kg. |
| • Agua | 13.60 Kg. |
| • Aditivos: | |
| - Power Mix 100 | 738.02 cc ^(c) |
| - Slump Mix C | 324.80 cc |

a- 1 Bolsa de Cemento = 42.5 Kg.

$$\begin{aligned} \text{*Total de Bolsas de Cemento:} & \quad (\text{Cantidad de Cemento} / 42.5 \text{ Kg}) = \\ & = (510 \text{ Kg/m}^3) / 42.5 \text{ Kg} = \underline{12.00 \text{ Bolsas/mt}^3} \end{aligned}$$

b-Cantidad de Material para una Bolsa = Cantidad de Material Corregida por Peso / Bolsas de Cemento:

$$\text{Ejemplo: Cantidad de Arena Corregida} / \text{Bolsas de Cemento} = (706.152 \text{ Kg/m}^3) / (12.0 \text{ Bolsas/mt}^3) =$$

$$\text{Cantidad de Arena en Peso para una Bolsa de Cemento:} = \underline{58.85 \text{ Kg}}$$

c-Volumen de Aditivo a Medir = [Peso Aditivo/Bolsas de Cemento]*1000 / (G.E. de Aditivo).

$$\text{Ejemplo:} [(\text{Aditivo Power Mix 100}) / (\text{Bolsas/mt}^3) * 1000] / (\text{G.E. de Aditivo}) =$$

$$= [(10.717 \text{ Kg/m}^3) / (12.00 \text{ Bolsas/mt}^3)] * 1000 / (1.21) = \underline{738.02 \text{ cc}}$$

4.5 PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO.

El control de la calidad del concreto se comienza verificando la calidad de cada uno de sus elementos constituyentes y se continúa con la verificación de sus propiedades en su estado fresco y en su estado endurecido a diferentes edades. Las pruebas realizadas para controlar la calidad del concreto en estado fresco y endurecido fuerón:

| PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO | NORMAS |
|--|-------------|
| • PRUEBA DE REVENIMIENTO | ASTM C-143 |
| • PRUEBA PARA TOMAR LA TEMPERATURA DE MEZCLAS DE CONCRETO FRESCO. | ASTM C-1064 |
| • MÉTODO DE FABRICACIÓN Y CURADO DE ESPECIMENES DE PRUEBA DE CONCRETO EN EL LABORATORIO. | ASTM C-192 |
| • MÉTODO ESTÁNDAR DE ENSAYO PARA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECIMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO. | ASTM C-39 |
| • MÉTODO ESTÁNDAR DE ENSAYO PARA RESISTENCIA A TENSIÓN INDIRECTA DEL CONCRETO | ASTM C-496 |
| • PRUEBA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO AL ATAQUE DE AGENTES QUÍMICOS. | SIN NORMA |

4.5.1 CONCRETO FRESCO.

Los Concretos de Gran Comportamiento son concretos con propiedades reológicas satisfactorías para su manejo y colocación, por lo tanto el uso de un proporcionamiento adecuado junto con los procesos de dosificación y mezclado deben conducir a una consistencia fluida acompañada de una cohesión conveniente, evitando de esta manera la segregación.

4.5.1-1 DOSIFICACION Y MEZCLADO DEL CONCRETO.

La dosificación es el proceso de pesar o medir volumétricamente e introducir al mezclador los ingredientes para producir una mezcla de concreto. En este caso los componentes fueron pesados en una balanza con precisión de 1 gr, mientras que el aditivo y el agua fueron medidos por volumen en probetas de 1000 ml y 500 ml de capacidad.

El concreto debe ser mezclado completamente hasta que sea uniforme en apariencia con todos sus ingredientes distribuidos uniformemente. Para mezclar el concreto se utilizó una mezcladora de gasolina con capacidad de 1 bolsa, realizando las revolturas con cargas dosificadas para una bolsa de cemento, obteniéndose de 9 a 11 especímenes cilíndricos de 15 x 30 cm por revoltura.

Las condiciones en que se elaboraron las mezclas fueron las siguientes:

- Mezclados al aire libre.
- Fechas de mezclado y colado: 01 al 20 de Septiembre de 1997.
- Horas de mezclado y colado: de 1 pm a 5 p.m.
- Temperatura ambiental variando entre 30°C a 25°C.
- Viento de moderado a ligero.

El orden de carga de los componentes del concreto a la mezcladora (Dosificación para 1 bolsa de cemento) para cada una de las seis mezclas elaboradas fue de la siguiente manera:

MEZCLAS A Y D

- 1- Mezcla de mortero para enjuagar la máquina concretera y posterior descarga. El objetivo de este procedimiento es evitar la pérdida de finos en las mezclas.
- 2- Se carga todo el agregado grueso.

- 3- Se carga la mitad del agregado fino.
- 4- Se agrega el cemento.
- 5- Se agrega la mitad del agua de diseño.
- 6- Se agrega la arena restante y posteriormente la otra mitad del agua de diseño.
- 7- Luego se mezcla durante un período de 3 minutos.

MEZCLAS B y E.

- 1- Mezclas de mortero para enjuagar la máquina concretora y posterior descarga. El objetivo de este procedimiento es evitar la pérdida de finos en la mezcla.
- 2- Se carga el total de agregado grueso.
- 3- Se carga la mitad del agregado fino.
- 4- Se agrega el cemento.
- 5- Se agrega la mitad del agua de diseño.
- 6- Se agrega la Arena restante.
- 7- La mitad del Agua restante se divide en otras 2 partes: una de ellas se agrega a la mezcla junto con los aditivos reductores de agua de alto rango tipo "F" y "G" (Edecon Powermix 100 y Edecon Slumpmix-C). Cuando se agregan los aditivos y el agua se hacen por separado pero simultáneamente, agregándose a la revoltura a la misma velocidad de mezclado inicial. Luego se deja revolver durante 2 minutos.
- 8- Se agrega el agua restante.
- 9- Posteriormente se mezcla durante un período de 3 minutos a una misma velocidad de revoltura inicial constante.

MEZCLAS C Y F

- 1- Mezcla de mortero para enjuagar la máquina concretera y posterior descarga.
- 2- Se agrega toda la microsílca (Edecon Megamix P), seguidamente el 50% del aditivo reductor de agua tipo "F" (para el caso Edecon Powermix 100), luego la mitad de agua de diseño. Esta mezcla se debera revolver durante 1 minuto (el objetivo de este procedimiento es dispersar la microsílca para mayor resultado).
- 3- Se carga todo el agregado grueso.
- 4- Se carga la mitad del agregado fino.
- 5- Se agrega el cemento.
- 6- Luego la mitad del agua restante se divide en 2 partes una de ellas se agrega a la mezcla para dispersar el cemento.
- 7- Se agrega la arena restante.
- 8- El 50% del aditivo reductor de Agua tipo "F" restante es agregado junto con todo el Aditivo Reductor de Agua tipo "G" (Edecon Slumpmix-C) y el agua de diseño restante esta operación (Aditivos-Agua) se realiza simultáneamente.
- 9- Posteriormente se mezcla durante un período de 5 minutos a una velocidad de revoltura igual que la inicial (Velocidad constante).

4.5.1-2 TRABAJABILIDAD Y TEMPERATURA DEL CONCRETO.

• TRABAJABILIDAD.

La prueba de revenimiento (cono de Abrams) según la norma ASTM C-143 fue realizada para medir la consistencia de las mezclas de concreto elaboradas, aunque lo ideal hubiera sido medirla con el aparato de Vebe para las mezclas A y D que son las mezclas de control y para las mezclas B, C, E y F con la mesa de fluidez, prueba aplicable a los concretos

fluidos. Los revenimientos obtenidos varían dependiendo de las mezclas entre 5cm a 25cm (ver sección 5.3.2-2).

- **TEMPERATURA.**

La temperatura del concreto fresco fue medida introduciendo un termómetro de vidrio dentro de una muestra, permaneciendo así un tiempo mínimo de 2 minutos o hasta que la lectura se estabilizara para tomarla (norma ASTM C-1064), esto se hacía inmediatamente después de cada mezclado realizado, al igual que la prueba de revenimiento. La temperatura de las mezclas fluctuaba entre 29°C y 27°C. (ver sección 5.3.2-2).

El siguiente cuadro comparativo muestra los revenimientos y temperaturas que más se repetían en cada mezcla:

Cuadro No. 4.28

| PRUEBA | MEZCLAS | | | | | |
|-------------------|---------|----|----|----|----|----|
| | A | B | C | D | E | F |
| REVENIMIENTO (cm) | 5 | 21 | 23 | 5 | 25 | 23 |
| TEMPERATURA (°C) | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 27 |

Algunos de los Revenimientos obtenidos en las mezclas se muestran en las fotografías siguientes:



Fig. 4.2 Las fotografía muestra un revenimiento de la mezcla "B" medido con el cono de Abrams el cual fue de 22 cm.



Fig. 4.3 Las fotografías muestran un revenimiento de la mezcla "E" de 26 cm (izquierda) y un revenimiento de la mezcla "F" de 21 cm (derecha) ambos medidos con el cono de abrams.

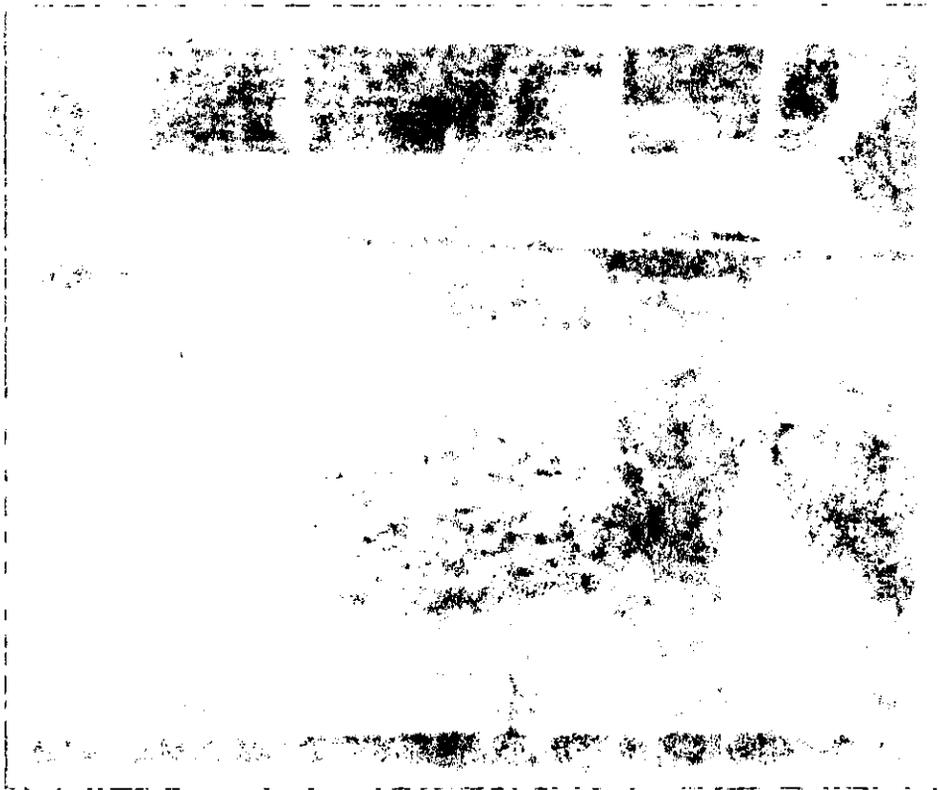


Figure 1. Aerial photograph of the study area showing the location of the study sites (indicated by the dashed line) and the location of the study sites (indicated by the dashed line).



Figure 2. Aerial photograph of the study area showing the location of the study sites (indicated by the dashed line) and the location of the study sites (indicated by the dashed line).

4.5.1-3 FABRICACIÓN DE ESPECÍMENES DE PRUEBA.

Con el fin de determinar la resistencia a la compresión y tensión indirecta del concreto se elaboraron especímenes cilíndricos de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura y para someter el concreto al ataque de agentes químicos se elaboraron especímenes cilíndricos de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura. El número de especímenes cilíndricos de prueba para cada mezcla se estableció de la siguiente manera.

Cuadro No. 4.29 Especímenes Cilíndricos de Prueba para cada Mezcla.

| Ensayo | Edad de Prueba (días) | Dimensión de Especímenes (cm) | No. de Especímenes Cilíndricos de Prueba Ensayados. |
|---|-----------------------|-------------------------------|---|
| Resistencia a la Compresión. | 7 | 15 x 30 cm | 5 |
| | 28 | 15 x 30 cm | 15 |
| | 56 | 15 x 30 cm | 15 |
| | 90 | 15 x 30 cm | 5 |
| | | | |
| Resistencia a la Tensión Indirecta. | 56 | 15 x 30 cm | 5 |
| | | | |
| Resistencia al Ataque de Agentes químicos. | 56 | 10 x 20 cm | 12 |
| | | | |
| * Los especímenes de prueba elaborados para reposición fue de 2 por edad. | | | |

El número total de especímenes cilíndricos de 15 x 30 cm ensayados fue de 270 y el número total de especímenes cilíndricos de 10 x 20 cm, fue 72.

Los especímenes se fabricaron de acuerdo a la norma ASTM C-192 (Método de Fabricación y curado de especímenes de prueba de concreto en el laboratorio). El procedimiento se describe a continuación:

Medidos el revenimiento y la temperatura de la mezcla de concreto y teniendo los moldes previamente engrasados para evitar que el concreto se adhiriera a las paredes de estos, se llenaron en 3 capas utilizando un cucharón. Para la consolidación del concreto en el caso de las mezclas A y D (mezclas secas) se usó un vibrador eléctrico introduciéndolo 3 veces en diferentes puntos con una duración de inserción de 3 segundos por cada capa. Las mezclas B, C, E y F son mezclas fluidas y la consolidación resultaba innecesaria.

Colocado y consolidado el concreto en los moldes se enrasaron con la manipulación mínima, con el objetivo de producir una superficie plana y lisa a nivel del borde de los moldes. Posteriormente los especímenes cilíndricos se dejaron en reposo en el cuarto húmedo durante 24 horas con curado inicial que consistió en tapar los especímenes inmediatamente después del acabado de su superficie con cubiertas de papel húmedas y bolsas plásticas sellandolos con un hule para evitar la evaporación del agua de la mezcla. Pasadas las 24 horas, se desmoldaron los especímenes cilíndricos de concreto y se marcaron con su respectiva identificación y se procedió al curado final.

4.5.2 CONCRETO ENDURECIDO.

En los Concretos de Gran Comportamiento si las propiedades en estado fresco resultan satisfactorias no se deben descuidar los procedimientos para lograr las propiedades requeridas en estado endurecido. El curado de los Concretos de Gran Comportamiento es un proceso esencial para garantizar las propiedades en estado endurecido y sobre todo la resistencia a la compresión y la durabilidad, que solamente se desarrollarán completamente si el concreto ha sido curado durante un período adecuado antes de ponerse en servicio.

En esta investigación las propiedades del concreto endurecido determinadas fueron la resistencia a la compresión, la resistencia a la tensión indirecta y resistencia al ataque de agentes químicos determinadas en especímenes cilíndricos previamente curados hasta las edades de prueba establecidos.

4.5.2-1 CURADO DE ESPECÍMENES DE PRUEBA.

El curado es el proceso de mantener un contenido de humedad satisfactorio y una temperatura favorable en el concreto durante un período definido inmediatamente después de la colocación y acabado.

El curado inicial y final de los especímenes cilíndricos se realizó de acuerdo a la norma ASTM C-192. El curado inicial como se describió en la fabricación de los especímenes de prueba consistió en usar cubiertas de papel humedecidas y selladas con bolsas plásticas para evitar la evaporación antes del desmoldado. El curado final o sea después de las 24 horas de fabricación de los especímenes cilíndricos consistió en la inmersión total de estos en tanques con agua saturada de cal a una temperatura de $23 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$ hasta cumplir con las edades de prueba correspondientes para cada espécimen.

4.5.2-2 CABECEADO DE LOS ESPECÍMENES DE PRUEBA.

El cabeceado es un procedimiento para nivelar las bases de los especímenes cilíndricos de concreto y así garantizar una buena distribución de esfuerzos en estos cuando son sometidos al ensayo de resistencia a la compresión.

En los especímenes de Concreto de Gran Comportamiento el cabeceado es muy importante, por lo que se debe tomar en cuenta el uso de un material resistente, con una capa muy delgada de espesor uniforme, ya que es la clave para un excelente cabeceado. Si la resistencia a la compresión o el módulo de elasticidad del material de cabeceo es menor

que la resistencia a compresión o módulo de elasticidad de los especímenes de concreto, las cargas aplicadas a través del cabeceado no serán transmitidas uniformemente. Entre los materiales de cabeceo el mortero de azufre (ASTM C-287) y los compuestos de azufre son los más ampliamente usados. Estos han demostrado ser efectivos en concretos con resistencias altas como 700 Kg/cm^2 (10,000 psi), sin embargo pueden ser inconvenientes cuando el espesor del cabeceado es mayor de 3 mm (1/8"). El uso de membranas elastoméricas con anillos de metal que las restringen adecuadamente han demostrado ser excelentes como material de cabeceo. Sin embargo, las resistencias del concreto derivadas del uso del nuevo método de elastómero con anillo se deben correlacionar con los resultados del método tradicional para mezclas de concreto de varias resistencias y materiales.

El cabeceado de los especímenes de prueba se hizo utilizando almohadillas de neopreno (ASTM C-1231). Este método de cabeceado consiste en ajustar almohadillas confinadas dentro de unos platos de retención. Este ensamble se coloca en las bases del cilindro y luego se lleva a la máquina de ensayo. Se adoptó éste método debido a que los cilindros fueron adecuadamente enrasados y quedaron prácticamente planos y así las almohadillas de neopreno se ajustaron perfectamente. Las almohadillas utilizadas son de alta resistencia (grado 60) y se consideró compatible con la resistencia del concreto.

4.5.2-3 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

En el ensayo de resistencia a compresión de los especímenes cilíndricos de Concreto de Gran Comportamiento se debe tomar en cuenta que estos pueden exceder la capacidad de la mayoría de Máquinas de Compresión antiguas usadas por los laboratorios de materiales, porque no tienen la rigidez o la capacidad para probar Concretos de Gran Comportamiento si el diseño de la resistencia excede los 700 Kg/cm^2 (10,000 psi). Para semejantes pruebas

las máquinas de compresión deberán tener una rigidez longitudinal y lateral, estabilidad y capacidad de carga al menos de 20% en exceso de la resistencia a compresión esperada en los cilindros de concreto. Sigvaldason recomienda⁸⁴ una rigidez lateral de 10×10^4 lb/pulg y una rigidez longitudinal de 10×10^6 lb/pulg. Por lo tanto solamente máquinas de prueba de alta calidad y propiamente calibradas deberán ser usadas para probar Concretos de Gran Comportamiento.

En esta investigación la resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto (15 x 30 cm) se obtuvo a diferentes edades de curado a los 7, 28, 56 y 90 días, esto permitió elaborar Gráficos de Resistencia a Compresión contra Edad del Concreto. Se tomó como resultado el promedio de resistencia a compresión alcanzada de 5 cilindros a la edad de 7 y 90 días, y el promedio de 15 cilindros a la edad de 28 y 56 días para la seis mezclas elaboradas (A, B, C, D, E y F). El ensayo de resistencia a la compresión se realizó de acuerdo a la norma ASTM C-39 (Método Estándar de Ensayo para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto). Tres máquinas de compresión fueron utilizadas para la ruptura de los especímenes cilíndricos de prueba. Para los cilindros de todas las mezclas (A, B, C, D, E y F) con edades de 7 y 28 días, se utilizó la Máquina Universal Tinius-Olsen del Laboratorio de Suelos y Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador. A la edad de 56 días, 5 cilindros de la mezcla "A" fueron ensayados en la Máquina Tinius-Olsen del Laboratorio de Materiales del Centro de Investigaciones Geotécnicas. Para los demás cilindros y de todas las mezclas con edades de 56 y 90 días se utilizó la Máquina de Compresión ELE International (Soiltest), del laboratorio de Ingeniería Civil del Instituto Técnico Centroamericano (ITCA).

⁸⁴ State of the Art. Report on High Strength Concrete. Reported by ACI Committe 363, en ACI Manual of Concrete Practice Part 1, 1995
Pag. No. 20.

El ensayo de resistencia a compresión en todas esas instituciones fue realizado después de cabecear los cilindros con almohadillas de neopreno confinadas en los platos de retención; fueron estrictamente centrados y además fueron tomadas medidas de seguridad al momento de la ruptura, dado que el tipo de falla de algunos cilindros era explosiva.

Los resultados de la ruptura de los especímenes cilíndricos para cada mezcla son mostrados en los siguientes cuadros:

ENSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO A COMPRESIÓN

| | | | |
|------------------------------|-----------------|--|--|
| MEZCLA : " A " DE CONTROL | | FECHA DE COLADO: 08/09/97 - 09/09/97 | |
| NORMA DE PRUEBA: ASTM C - 39 | | TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO : 3/4" (19 mm) | |
| RELACIÓN A/C= 0.30 | ADITIVOS: ----- | ADICIONES: ----- | |

MEZCLA " A "

| CILINDRO | EDAD | DIÁMETRO | AREA | ALTURA | VOLUMEN | PESO | PESO VOLUMÉTRICO | CARGA | ESFUERZO |
|----------------------------|--------|----------|--------------------|--------|--------------------|--------|------------------------|---------|------------------------|
| (No.) | (Días) | (cm) | (cm ²) | (cm) | (cm ³) | (Kg.) | (Kg./mt ³) | (Kg.) | (Kg./cm ²) |
| A - 1 | 7 | 15.30 | 183.854 | 30.70 | 5644.313 | 13.205 | 2339.523 | 91,500 | 497.678 |
| A - 2 | 7 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.085 | 2325.839 | 87,500 | 475.921 |
| A - 3 | 7 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.230 | 2351.612 | 91,250 | 496.318 |
| A - 4 | 7 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.145 | 2336.503 | 89,500 | 486.800 |
| A - 5 | 7 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 13.255 | 2325.557 | 95,750 | 514.052 |
| PROMEDIO A 7 DÍAS= | | | | | | | | | 494.154 |
| A - 38 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.080 | 2332.573 | 105,000 | 571.106 |
| A - 39 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 13.240 | 2322.925 | 107,000 | 574.450 |
| A - 40 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.50 | 5681.083 | 13.174 | 2318.924 | 110,000 | 590.556 |
| A - 41 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 13.155 | 2308.012 | 109,250 | 586.530 |
| A - 42 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.50 | 5681.083 | 13.110 | 2307.658 | 106,000 | 569.082 |
| A - 43 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.095 | 2335.248 | 106,500 | 579.264 |
| A - 44 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.195 | 2353.081 | 105,500 | 573.825 |
| A - 45 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 13.335 | 2339.593 | 108,750 | 583.846 |
| A - 46 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.120 | 2339.706 | 113,500 | 617.338 |
| A - 47 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.140 | 2343.272 | 108,500 | 590.143 |
| A - 48 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.50 | 5681.083 | 13.305 | 2341.983 | 110,500 | 593.241 |
| A - 49 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.50 | 5681.083 | 13.080 | 2302.378 | 114,500 | 614.715 |
| A - 50 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.103 | 2329.038 | 114,500 | 622.777 |
| A - 52 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.085 | 2333.464 | 110,500 | 601.021 |
| A - 54 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.117 | 2339.171 | 109,750 | 596.942 |
| PROMEDIO A 28 DÍAS= | | | | | | | | | 590.989 |
| A - 6 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 13.179 | 2312.223 | 113,420 | 608.917 |
| A - 7 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.70 | 5644.313 | 13.170 | 2333.322 | 113,379 | 616.680 |
| A - 8 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.70 | 5644.313 | 13.258 | 2348.913 | 112,987 | 614.548 |
| A - 9 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 13.299 | 2333.277 | 113,193 | 607.699 |
| A - 10 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.120 | 2332.060 | 114,832 | 624.583 |
| A - 11 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.148 | 2337.037 | 114,532 | 622.951 |
| A - 12 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.160 | 2339.170 | 113,856 | 619.274 |
| A - 13 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.70 | 5718.336 | 13.149 | 2299.445 | 115,421 | 619.660 |
| A - 14 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 13.156 | 2308.188 | 114,186 | 613.030 |
| A - 15 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.165 | 2340.058 | 113,170 | 615.543 |
| A - 16 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.172 | 2341.303 | 112,890 | 614.020 |
| A - 17 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.143 | 2336.148 | 113,140 | 615.380 |
| A - 32 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.130 | 2341.489 | 112,516 | 611.986 |
| A - 33 | 56 | 15.20 | 181.458 | 30.50 | 5534.481 | 13.115 | 2369.689 | 109,800 | 605.097 |
| A - 34 | 56 | 15.20 | 181.458 | 30.60 | 5552.627 | 13.085 | 2356.542 | 110,750 | 610.333 |
| PROMEDIO A 56 DÍAS= | | | | | | | | | 614.647 |
| A - 20 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.70 | 5644.313 | 13.132 | 2326.589 | 138,828 | 755.102 |
| A - 21 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.70 | 5644.313 | 13.021 | 2306.924 | 136,471 | 742.279 |
| A - 22 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.087 | 2326.194 | 132,694 | 721.735 |
| A - 24 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.70 | 5644.313 | 13.092 | 2319.503 | 135,063 | 734.620 |
| A - 27 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.115 | 2331.171 | 134,242 | 730.154 |
| PROMEDIO A 90 DÍAS= | | | | | | | | | 736.778 |

ENSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO A COMPRESIÓN

| | | |
|--|------------------|------------------------------------|
| MEZCLA: " B " | RELACION A/C=030 | FECHA DE COLADO: 12/09/97-16/09/97 |
| NORMA DE PRUEBA: ASTM C - 39 | | TAMAÑO MAX DE AGREGADO : 3/4" |
| ADITIVOS: TIPO " F " : EDECON POWERMIX 100= 0.750% | | ADICION MICROSILICA: |
| TIPO " G " : EDECON SLUMPMIX-C= 0.438% | | EDECON MEGAMIX P= 0.0% |

MEZCLA " B "

| CILINDRO | EDAD | DIÁMETRO | AREA | ALTURA | VOLUMEN | PESO | PESO VOLUMÉTRICO | CARGA | ESFUERZO |
|----------------------------|----------|----------|---------------------|--------|---------------------|---------|--------------------------|---------|---------------------------|
| (No.) | (Días) | (cm) | (cm ²) | (cm) | (cm ³) | (Kg.) | (Kg. / m ³) | (Kg.) | (Kg. / cm ²) |
| B - 1 | 7 | 15.20 | 181.458 | 30.40 | 5516.335 | 13.015 | 2359.356 | 103,000 | 567.623 |
| B - 2 | 7 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.020 | 2321.873 | 104,750 | 569.746 |
| B - 3 | 7 | 15.20 | 181.458 | 30.50 | 5534.481 | 13.045 | 2357.041 | 100,500 | 553.846 |
| B - 11 | 7 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.157 | 2346.304 | 101,500 | 552.069 |
| B - 12 | 7 | 15.30 | 183.854 | 30.40 | 5589.157 | 13.127 | 2348.655 | 105,250 | 572.466 |
| PROMEDIO A 7 DÍAS= | | | | | | | | | 563.150 |
| B - 41 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.50 | 5681.083 | 13.212 | 2325.613 | 129,000 | 692.562 |
| B - 42 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.215 | 2348.946 | 123,750 | 673.089 |
| B - 43 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.70 | 5644.313 | 13.238 | 2345.369 | 124,500 | 677.168 |
| B - 44 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.194 | 2345.213 | 123,500 | 671.729 |
| B - 45 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.350 | 2372.942 | 129,500 | 704.364 |
| B - 46 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 13.355 | 2343.102 | 129,500 | 695.246 |
| B - 47 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.70 | 5644.313 | 13.280 | 2352.811 | 129,250 | 703.004 |
| B - 48 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.350 | 2372.942 | 126,000 | 685.327 |
| B - 49 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 13.235 | 2322.048 | 125,000 | 671.087 |
| B - 50 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.200 | 2353.972 | 123,000 | 669.010 |
| B - 51 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.325 | 2368.498 | 129,000 | 701.644 |
| B - 52 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.085 | 2325.839 | 125,000 | 679.888 |
| B - 53 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.600 | 2425.305 | 126,500 | 688.046 |
| B - 54 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 13.200 | 2315.907 | 134,000 | 719.405 |
| B - 55 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.200 | 2353.972 | 126,500 | 688.046 |
| PROMEDIO A 28 DÍAS= | | | | | | | | | 687.974 |
| B - 9 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.40 | 5589.157 | 12.950 | 2316.986 | 141,787 | 771.192 |
| B - 10 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.50 | 5681.083 | 12.947 | 2278.967 | 144,889 | 777.863 |
| B - 13 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.40 | 5589.157 | 13.180 | 2358.137 | 142,318 | 774.082 |
| B - 15 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.324 | 2376.085 | 144,914 | 788.202 |
| B - 16 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.40 | 5589.157 | 13.146 | 2352.054 | 142,337 | 774.186 |
| B - 17 | 56 | 15.20 | 181.458 | 30.60 | 5552.627 | 13.245 | 2385.358 | 141,461 | 779.578 |
| B - 18 | 56 | 15.20 | 181.458 | 30.40 | 5516.335 | 13.199 | 2392.712 | 140,780 | 775.825 |
| B - 19 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.347 | 2380.187 | 143,293 | 779.385 |
| B - 20 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.50 | 5681.083 | 13.377 | 2354.657 | 140,776 | 755.783 |
| B - 21 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.40 | 5589.157 | 13.191 | 2360.105 | 141,629 | 770.335 |
| B - 22 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.113 | 2330.815 | 142,047 | 772.609 |
| B - 23 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.50 | 5681.083 | 13.080 | 2302.378 | 144,712 | 776.914 |
| B - 24 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.134 | 2342.202 | 144,326 | 785.004 |
| B - 25 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.104 | 2336.853 | 145,542 | 791.618 |
| B - 28 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 13.105 | 2299.240 | 143,483 | 770.316 |
| PROMEDIO A 56 DÍAS= | | | | | | | | | 776.193 |
| B - 4 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.985 | 2308.064 | 150,068 | 816.234 |
| B - 5 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.945 | 2300.954 | 150,569 | 818.958 |
| B - 6 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.927 | 2297.754 | 150,898 | 820.749 |
| B - 7 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.960 | 2303.620 | 150,440 | 818.258 |
| B - 8 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.920 | 2296.510 | 150,725 | 819.806 |
| PROMEDIO A 90 DÍAS= | | | | | | | | | 818.801 |

ENSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO A COMPRESIÓN

| | | | |
|------------------|---|-------------------------------|--------------------------------------|
| MEZCLA: | " C " | RELACION A/C= 0.30 | FECHA DE COLADO: 17/09/97 - 18/09/97 |
| NORMA DE PRUEBA: | ASTM C - 39 | TAMAÑO MAX DE AGREGADO : 3/4" | |
| ADITIVOS: | TIPO " F ": EDECON POWERMIX 100= 1.50% | ADICION MICROSILICA | |
| | TIPO " G ": EDECON SLUMPMIX - C= 0.625% | EDECON MEGAMIX P= 10.0% | |

MEZCLA " C "

| CILINDRO | EDAD | DIÁMETRO | ÁREA | ALTURA | VOLUMEN | PESO | PESO VOLUMÉTRICO | CARGA | ESFUERZO |
|----------------------------|--------|----------|--------------------|--------|--------------------|--------|--------------------------|---------|--------------------------|
| (No.) | (Días) | (cm) | (cm ²) | (cm) | (cm ³) | (Kg.) | (Kg. / mt ³) | (Kg.) | (Kg. / cm ²) |
| C - 51 | 7 | 15.40 | 186.265 | 30.70 | 5718.336 | 12.817 | 2241.386 | 89,250 | 479.156 |
| C - 52 | 7 | 15.40 | 186.265 | 30.70 | 5718.336 | 12.777 | 2234.391 | 92,000 | 493.920 |
| C - 53 | 7 | 15.40 | 186.265 | 30.80 | 5736.963 | 12.806 | 2232.192 | 89,500 | 480.498 |
| C - 54 | 7 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.796 | 2274.469 | 89,000 | 484.080 |
| C - 55 | 7 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.800 | 2275.180 | 87,000 | 473.202 |
| PROMEDIO A 7 DÍAS= | | | | | | | | | 482.171 |
| C - 6 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.980 | 2307.175 | 123,000 | 669.010 |
| C - 7 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.999 | 2310.552 | 123,000 | 669.010 |
| C - 8 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.50 | 5681.083 | 12.950 | 2279.495 | 123,500 | 663.034 |
| C - 9 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 13.000 | 2280.818 | 123,500 | 663.034 |
| C - 10 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.975 | 2306.286 | 124,000 | 674.449 |
| C - 11 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 13.125 | 2302.749 | 123,500 | 663.034 |
| C - 12 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.050 | 2327.223 | 122,750 | 667.650 |
| C - 13 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.950 | 2309.389 | 122,000 | 663.571 |
| C - 14 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 12.540 | 2200.112 | 122,750 | 659.007 |
| C - 15 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.990 | 2308.952 | 120,000 | 652.692 |
| C - 16 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.935 | 2306.715 | 121,000 | 658.131 |
| C - 17 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.030 | 2316.062 | 122,500 | 666.290 |
| C - 18 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.100 | 2336.139 | 121,250 | 659.491 |
| C - 49 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 12.850 | 2254.501 | 123,250 | 661.692 |
| C - 50 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.805 | 2276.069 | 121,500 | 660.851 |
| PROMEDIO A 28 DÍAS= | | | | | | | | | 663.396 |
| C - 23 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.40 | 5589.157 | 12.997 | 2325.395 | 145,073 | 789.067 |
| C - 26 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.40 | 5662.457 | 12.865 | 2271.982 | 143,654 | 771.233 |
| C - 28 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.935 | 2299.176 | 142,520 | 775.180 |
| C - 30 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.050 | 2319.617 | 148,018 | 805.085 |
| C - 34 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.014 | 2320.803 | 143,617 | 781.148 |
| C - 36 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.40 | 5589.157 | 13.040 | 2333.089 | 144,441 | 785.629 |
| C - 37 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.015 | 2320.981 | 142,730 | 776.323 |
| C - 39 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.927 | 2305.288 | 142,344 | 774.226 |
| C - 40 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.70 | 5644.313 | 13.015 | 2305.861 | 141,890 | 771.752 |
| C - 41 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.70 | 5644.313 | 13.042 | 2310.644 | 143,829 | 782.301 |
| C - 42 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.70 | 5644.313 | 13.087 | 2318.617 | 142,031 | 772.523 |
| C - 43 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.934 | 2306.536 | 145,340 | 790.520 |
| C - 44 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.000 | 2318.306 | 143,520 | 780.620 |
| C - 45 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.930 | 2305.823 | 142,633 | 775.796 |
| C - 47 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.880 | 2296.906 | 145,845 | 793.266 |
| PROMEDIO A 56 DÍAS= | | | | | | | | | 781.645 |
| C - 1 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.011 | 2134.937 | 153,850 | 836.806 |
| C - 2 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.020 | 2314.285 | 153,570 | 835.280 |
| C - 3 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.70 | 5644.313 | 13.036 | 2309.581 | 154,379 | 839.684 |
| C - 4 | 90 | 15.20 | 181.458 | 30.40 | 5516.335 | 12.935 | 2344.854 | 155,817 | 858.693 |
| C - 5 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.020 | 2314.285 | 154,477 | 840.217 |
| PROMEDIO A 90 DÍAS= | | | | | | | | | 842.136 |

ENSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO A COMPRESIÓN

| | | | |
|------------------------------|-----------------|--|--|
| MEZCLA : " D " DE CONTROL | | FECHA DE COLADO: 10/09/97 - 11/09/97 | |
| NORMA DE PRUEBA: ASTM C - 39 | | TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO : 1/2" (12.5 mm) | |
| RELACIÓN A/C= 0.30 | ADITIVOS: ----- | ADICIONES: ----- | |

MEZCLA " D "

| CILINDRO | EDAD | DIÁMETRO | AREA | ALTURA | VOLUMEN | PESO | PESO VOLUMÉTRICO | CARGA | ESFUERZO |
|----------------------------|--------|----------|--------------------|--------|--------------------|--------|--------------------------|---------|--------------------------|
| (No.) | (Días) | (cm) | (cm ²) | (cm) | (cm ³) | (Kg.) | (Kg. / mt ³) | (Kg.) | (Kg. / cm ²) |
| D - 52 | 7 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.977 | 2314.204 | 105,000 | 571.106 |
| D - 53 | 7 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.950 | 2301.842 | 102,500 | 557.508 |
| D - 54 | 7 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.065 | 2329.898 | 103,000 | 560.228 |
| D - 55 | 7 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.000 | 2310.730 | 99,750 | 542.550 |
| D - 56 | 7 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.985 | 2308.064 | 101,000 | 549.349 |
| PROMEDIO A 7 DÍAS= | | | | | | | | | 556.148 |
| D - 37 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.70 | 5718.336 | 13.020 | 2276.886 | 122,750 | 659.007 |
| D - 38 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.70 | 5718.336 | 13.030 | 2278.635 | 119,500 | 641.559 |
| D - 39 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.70 | 5644.313 | 13.015 | 2305.861 | 120,000 | 652.692 |
| D - 40 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.070 | 2323.172 | 120,000 | 652.692 |
| D - 41 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.203 | 2354.507 | 123,000 | 669.010 |
| D - 42 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.080 | 2332.573 | 119,250 | 648.613 |
| D - 43 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.970 | 2305.397 | 122,500 | 666.290 |
| D - 44 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 13.170 | 2310.644 | 120,000 | 644.243 |
| D - 45 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 13.195 | 2315.030 | 121,000 | 649.612 |
| D - 46 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.015 | 2320.981 | 118,750 | 645.893 |
| D - 47 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.910 | 2302.256 | 117,000 | 636.375 |
| D - 48 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.780 | 2271.625 | 118,000 | 641.814 |
| D - 49 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 13.110 | 2300.117 | 121,250 | 650.954 |
| D - 50 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.50 | 5681.083 | 13.020 | 2291.816 | 117,500 | 630.822 |
| D - 51 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 13.095 | 2297.485 | 118,750 | 637.532 |
| PROMEDIO A 28 DÍAS= | | | | | | | | | 648.474 |
| D - 20 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.948 | 2309.033 | 130,461 | 709.589 |
| D - 21 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 13.038 | 2287.485 | 136,189 | 731.159 |
| D - 22 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.50 | 5681.083 | 13.028 | 2293.225 | 134,113 | 720.012 |
| D - 23 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.010 | 2312.507 | 137,962 | 750.388 |
| D - 24 | 56 | 15.20 | 181.458 | 30.50 | 5534.481 | 12.979 | 2345.116 | 133,420 | 735.264 |
| D - 25 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.960 | 2311.173 | 137,234 | 746.428 |
| D - 26 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.028 | 2315.707 | 139,504 | 758.774 |
| D - 27 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.70 | 5644.313 | 13.019 | 2306.569 | 136,423 | 742.018 |
| D - 28 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.984 | 2315.453 | 136,822 | 744.187 |
| D - 29 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.70 | 5644.313 | 13.090 | 2319.148 | 137,686 | 748.888 |
| D - 30 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.040 | 2317.840 | 134,421 | 731.130 |
| D - 31 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.026 | 2322.943 | 133,231 | 724.657 |
| D - 32 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.40 | 5589.157 | 13.015 | 2328.616 | 136,231 | 740.974 |
| D - 33 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.030 | 2316.062 | 133,482 | 726.022 |
| D - 34 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.028 | 2315.707 | 135,232 | 735.541 |
| PROMEDIO A 56 DÍAS= | | | | | | | | | 736.335 |
| D - 2 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.70 | 5644.313 | 13.109 | 2322.515 | 142,593 | 775.579 |
| D - 3 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.70 | 5644.313 | 13.153 | 2330.310 | 141,143 | 767.692 |
| D - 6 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.081 | 2325.128 | 141,306 | 768.580 |
| D - 9 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.076 | 2324.239 | 142,039 | 772.562 |
| D - 16 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.939 | 2477.636 | 144,529 | 786.106 |
| PROMEDIO A 90 DÍAS= | | | | | | | | | 774.104 |

ENSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO A COMPRESIÓN

| | | | |
|------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--|
| MEZCLA: " E " | | FECHA DE COLADO: 19/09/97 | |
| NORMA DE PRUEBA: ASTM C - 39 | | TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO : 1/2" | |
| RELACIÓN A/C= 0.30 | ADITIVOS: POWER MIX 100: 0.75% | ADICIONES: ----- | |
| | SLUMP MIX C: 0.438% | | |

MEZCLA " E "

| CILINDRO | EDAD | DIÁMETRO | ÁREA | ALTURA | VOLUMEN | PESO | PESO VOLUMÉTRICO | CARGA | ESFUERZO |
|---------------------|--------|----------|--------------------|--------|--------------------|--------|--------------------------|---------|--------------------------|
| (No.) | (Días) | (cm) | (cm ²) | (cm) | (cm ³) | (Kg.) | (Kg. / mt ³) | (Kg.) | (Kg. / cm ²) |
| E - 50 | 7 | 15.30 | 183.854 | 30.70 | 5644.3134 | 12.991 | 2301.609 | 108,000 | 587.423 |
| E - 51 | 7 | 15.20 | 181.458 | 30.70 | 5570.7726 | 12.756 | 2289.808 | 107,000 | 589.667 |
| E - 52 | 7 | 15.40 | 186.265 | 30.80 | 5736.9629 | 13.072 | 2278.558 | 113,250 | 608.005 |
| E - 53 | 7 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.7099 | 13.053 | 2290.117 | 110,500 | 593.241 |
| E - 54 | 7 | 15.50 | 188.692 | 30.60 | 5773.972 | 12.865 | 2228.102 | 112,750 | 597.535 |
| PROMEDIO A 7 DÍAS= | | | | | | | | | 595.174 |
| E - 36 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.065 | 2322.284 | 120,000 | 652.692 |
| E - 37 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 12.995 | 2279.941 | 123,000 | 660.349 |
| E - 38 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.950 | 2309.389 | 121,000 | 658.131 |
| E - 39 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.935 | 2306.715 | 120,500 | 655.412 |
| E - 40 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.905 | 2293.844 | 121,250 | 659.491 |
| E - 41 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.50 | 5681.083 | 12.975 | 2283.895 | 122,000 | 654.981 |
| E - 42 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.020 | 2314.285 | 121,500 | 660.851 |
| E - 43 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 12.985 | 2278.186 | 125,500 | 673.771 |
| E - 44 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.895 | 2292.066 | 127,000 | 690.766 |
| E - 45 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.100 | 2328.505 | 124,500 | 677.168 |
| E - 46 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.50 | 5681.083 | 12.960 | 2281.255 | 120,750 | 648.270 |
| E - 47 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.905 | 2301.365 | 124,250 | 675.809 |
| E - 48 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.995 | 2309.841 | 122,500 | 666.290 |
| E - 49 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.70 | 5644.313 | 12.995 | 2302.317 | 123,000 | 669.010 |
| E - 55 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.984 | 2307.886 | 123,500 | 671.729 |
| PROMEDIO A 28 DÍAS= | | | | | | | | | 664.981 |
| E - 6 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.100 | 2328.505 | 147,353 | 801.468 |
| E - 7 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.50 | 5681.083 | 13.120 | 2309.419 | 153,606 | 824.664 |
| E - 8 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 13.070 | 2293.099 | 151,302 | 812.294 |
| E - 9 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.50 | 5681.083 | 13.236 | 2329.837 | 152,478 | 818.610 |
| E - 10 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.130 | 2333.837 | 151,640 | 824.786 |
| E - 11 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.150 | 2337.392 | 152,482 | 829.363 |
| E - 12 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.40 | 5662.457 | 13.065 | 2307.302 | 154,067 | 827.139 |
| E - 13 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.070 | 2330.789 | 148,750 | 809.068 |
| E - 14 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.000 | 2318.306 | 150,262 | 817.288 |
| E - 15 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.50 | 5681.083 | 13.270 | 2335.822 | 152,909 | 820.920 |
| E - 16 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.050 | 2319.617 | 150,184 | 816.866 |
| E - 17 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.275 | 2367.347 | 151,206 | 822.424 |
| E - 19 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 13.096 | 2297.661 | 151,634 | 814.077 |
| E - 20 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.080 | 2324.950 | 150,745 | 819.916 |
| E - 21 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.073 | 2323.706 | 153,793 | 836.496 |
| PROMEDIO A 56 DÍAS= | | | | | | | | | 819.692 |
| E - 1 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.70 | 5644.313 | 13.109 | 2322.515 | 160,534 | 873.161 |
| E - 2 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.70 | 5644.313 | 13.153 | 2330.310 | 159,977 | 870.131 |
| E - 4 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.081 | 2325.128 | 160,971 | 875.538 |
| E - 5 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.076 | 2324.239 | 160,400 | 872.430 |
| E - 23 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.939 | 2477.636 | 159,943 | 869.945 |
| PROMEDIO A 90 DÍAS= | | | | | | | | | 872.241 |

ENSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO A COMPRESIÓN

| | | |
|---|---|---------------------------|
| MEZCLA: " F " | RELACION A/C= 0.30 | FECHA DE COLADO: 20/09/97 |
| NORMA DE PRUEBA: ASTM C - 39 | TAMAÑO MAX DE AGREGADO : 1/2" (12.5 mm) | |
| ADITIVOS: TIPO " F ": EDECON POWERMIX 100: 1.563% | ADICIONES MICROSILICA | |
| TIPO " G ": EDECON SLUMPMIX - C : 0.688% | EDECON MEGAMIX P= 10.0% | |

MEZCLA " F "

| CILINDRO | EDAD | DIÁMETRO | AREA | ALTURA | VOLUMEN | PESO | PESO VOLUMÉTRICO | CARGA | ESFUERZO |
|----------------------------|--------|----------|--------------------|--------|--------------------|--------|------------------------|---------|------------------------|
| (No.) | (Días) | (cm) | (cm ²) | (cm) | (cm ³) | (Kg.) | (Kg./mt ³) | (Kg.) | (Kg./cm ²) |
| F - 51 | 7 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.715 | 2267.482 | 105,500 | 573.825 |
| F - 52 | 7 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.738 | 2264.160 | 105,000 | 571.106 |
| F - 53 | 7 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.655 | 2256.782 | 106,750 | 580.624 |
| F - 54 | 7 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.7099 | 12.690 | 2226.429 | 106,500 | 571.766 |
| F - 55 | 7 | 15.40 | 186.265 | 30.50 | 5681.083 | 12.760 | 2246.050 | 107,750 | 578.477 |
| PROMEDIO A 7 DÍAS= | | | | | | | | | 575.160 |
| F - 34 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.40 | 5589.157 | 12.727 | 2277.087 | 126,000 | 685.327 |
| F - 35 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.781 | 2271.803 | 126,500 | 688.046 |
| F - 36 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.722 | 2261.316 | 127,000 | 690.766 |
| F - 37 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 12.817 | 2248.711 | 129,500 | 695.246 |
| F - 38 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 12.992 | 2279.414 | 125,500 | 673.771 |
| F - 39 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.50 | 5681.083 | 12.765 | 2246.931 | 125,000 | 671.087 |
| F - 42 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.750 | 2273.723 | 127,000 | 690.766 |
| F - 43 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.785 | 2279.965 | 126,750 | 689.406 |
| F - 44 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.893 | 2291.711 | 124,500 | 677.168 |
| F - 45 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.954 | 2302.553 | 127,500 | 693.486 |
| F - 46 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.885 | 2290.289 | 127,000 | 690.766 |
| F - 47 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 12.854 | 2255.203 | 127,750 | 685.851 |
| F - 48 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.50 | 5681.083 | 12.732 | 2241.122 | 125,000 | 671.087 |
| F - 49 | 28 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.700 | 2257.405 | 127,250 | 692.126 |
| F - 50 | 28 | 15.40 | 186.265 | 30.40 | 5662.457 | 12.758 | 2253.086 | 127,500 | 684.509 |
| PROMEDIO A 28 DÍAS= | | | | | | | | | 685.294 |
| F - 6 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 12.718 | 2231.342 | 146,138 | 784.570 |
| F - 7 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.755 | 2274.615 | 144,916 | 788.213 |
| F - 8 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.70 | 5644.313 | 12.851 | 2276.805 | 143,801 | 782.148 |
| F - 10 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.773 | 2270.381 | 147,847 | 804.155 |
| F - 11 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.819 | 2286.028 | 151,974 | 826.602 |
| F - 14 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 12.841 | 2252.922 | 149,907 | 804.803 |
| F - 15 | 56 | 15.20 | 181.458 | 30.50 | 5534.481 | 12.818 | 2316.026 | 145,012 | 799.147 |
| F - 17 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.787 | 2272.869 | 146,797 | 798.441 |
| F - 19 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.875 | 2288.511 | 151,669 | 824.942 |
| F - 23 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.60 | 5699.710 | 12.935 | 2269.414 | 150,657 | 808.832 |
| F - 26 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.740 | 2264.515 | 150,956 | 821.065 |
| F - 27 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.892 | 2291.533 | 150,532 | 818.757 |
| F - 28 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.50 | 5681.083 | 12.805 | 2253.972 | 147,385 | 791.264 |
| F - 30 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.859 | 2293.161 | 148,203 | 806.090 |
| F - 31 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.770 | 2269.848 | 148,671 | 808.635 |
| PROMEDIO A 56 DÍAS= | | | | | | | | | 804.511 |
| F - 1 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.814 | 2277.669 | 156,520 | 851.326 |
| F - 2 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.720 | 2260.960 | 156,633 | 851.942 |
| F - 3 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.755 | 2267.182 | 156,668 | 852.131 |
| F - 4 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.704 | 2258.116 | 157,069 | 854.314 |
| F - 5 | 90 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 12.782 | 2271.981 | 157,277 | 855.446 |
| PROMEDIO A 90 DÍAS= | | | | | | | | | 853.032 |

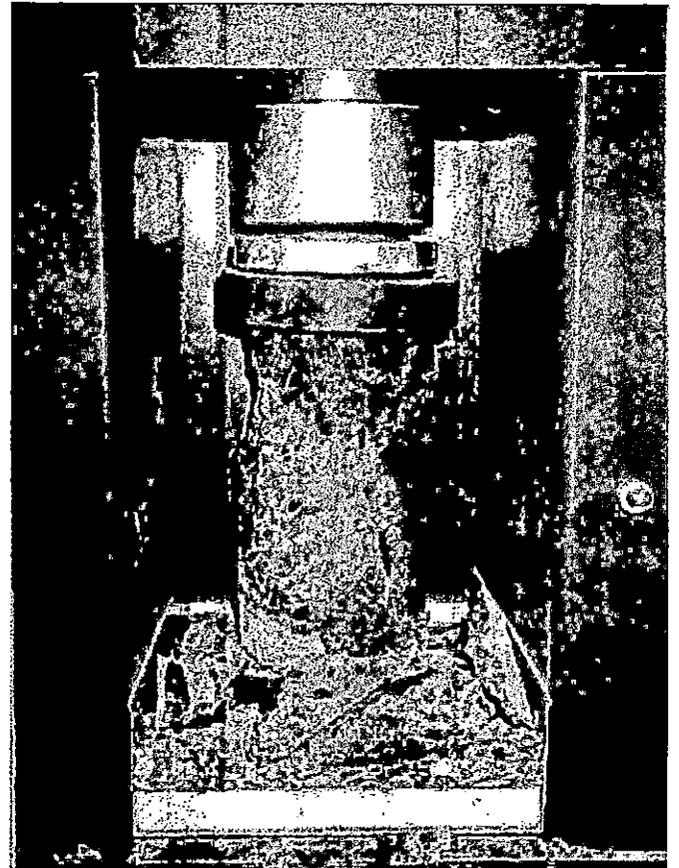
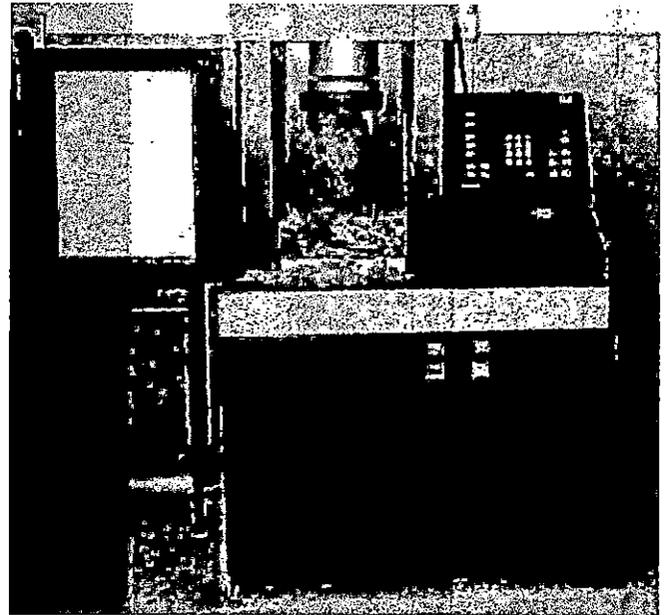
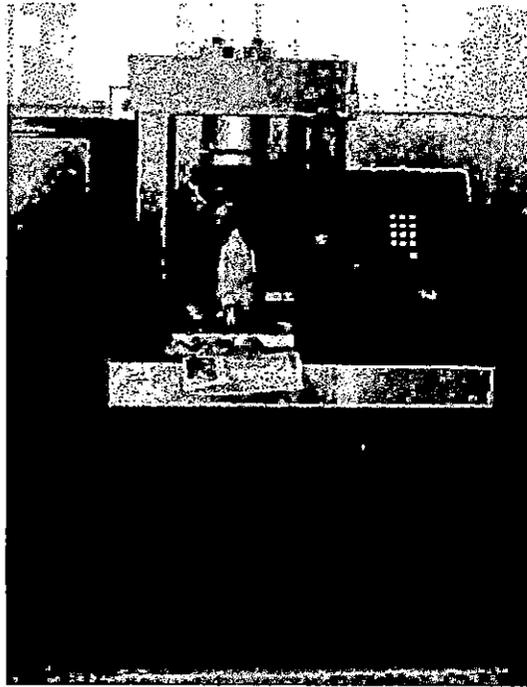


FIGURA 4.4 Las fotografías muestran la máquina utilizada para el ensayo a compresión uniaxial en los cilindros de 15 x 30 cm obtenidas a la edad de 56 días y 90 días de todas las mezclas elaboradas, también se puede observar los tipos de fallas obtenidas.

4.5.2-4 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA.

El ensayo de resistencia a la Tensión Indirecta se realizó de acuerdo a la Norma ASTM C-496 (Método Estándar de Ensayo para Resistencia a Tensión Indirecta del Concreto) que es un método indirecto de aplicar la tensión en forma de separación longitudinal, es conocido también como "Prueba Brasileña". En esta prueba un cilindro estándar de concreto se coloca con su eje en posición horizontal entre las placas de la máquina de ensayo y se aumenta la carga hasta observar una falla de separación por compresión a lo largo del diámetro vertical.

La tensión indirecta fue determinada solamente a la edad de 56 días de curado y se tomó como resultado el promedio de la tensión alcanzada de 5 especímenes cilíndricos ensayados para cada una de las seis mezclas elaboradas. Los resultados se muestran en el siguiente cuadro y en la sección 5.3.3-2 se correlacionan con la resistencia a la compresión obtenida a los 56 días de curado.

RESISTENCIA A LA TENSION INDIRECTA DEL CONCRETO

NORMA ASTM C-496

CUADRO No. 4.36

| MEZCLA | CILINDRO | EDAD | DIAMETRO (D) | AREA | ALTURA (H) | VOLUMEN | PESO | PESO VOLUMETRICO | CARGA (C) | ESFUERZO A TENSION (*) |
|-----------|----------|--------|-----------------|--------------------|---------------|--------------------|--------|-------------------------|--------------|---------------------------|
| | (No.) | (Días) | (cms) | (cm ²) | (cms) | (cm ³) | (Kgs.) | (Kg / mt ³) | (Kgf) | (Kgf / cm ²) |
| A | A - 18 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.6 | 5699.710 | 13.014 | 2283.274 | 35,100 | 47.42 |
| | A - 19 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.6 | 5625.928 | 13.090 | 2326.727 | 33,050 | 44.94 |
| | A - 35 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.6 | 5625.928 | 13.190 | 2344.502 | 36,450 | 49.56 |
| | A - 36 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.7 | 5644.313 | 13.185 | 2335.979 | 32,700 | 44.32 |
| | A - 37 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.6 | 5699.710 | 13.175 | 2311.521 | 38,100 | 51.47 |
| PROMEDIO= | | | | | | | | | | 47.54 |
| B | B - 31 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.139 | 2335.437 | 35,750 | 48.61 |
| | B - 33 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.40 | 5589.157 | 13.145 | 2351.875 | 37,500 | 51.33 |
| | B - 34 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.40 | 5662.457 | 13.34 | 2355.868 | 35,000 | 47.59 |
| | B - 35 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.50 | 5681.083 | 13.215 | 2326.141 | 43,250 | 58.62 |
| | B - 36 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.178 | 2342.369 | 37,250 | 50.65 |
| PROMEDIO= | | | | | | | | | | 51.36 |
| C | C - 20 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.270 | 2366.455 | 38,750 | 52.86 |
| | C - 24 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.30 | 5570.772 | 13.010 | 2335.403 | 43,000 | 59.05 |
| | C - 25 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.915 | 2303.148 | 41,500 | 56.62 |
| | C - 33 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.40 | 5662.457 | 13.070 | 2308.185 | 42,500 | 57.79 |
| | C - 35 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.70 | 5644.313 | 13.075 | 2316.491 | 39,000 | 52.86 |
| PROMEDIO= | | | | | | | | | | 55.84 |
| D | D - 10 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.000 | 2318.306 | 37,500 | 51.16 |
| | D - 11 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.115 | 2338.814 | 40,000 | 54.57 |
| | D - 12 | 56 | 15.40 | 186.265 | 30.50 | 5681.083 | 12.970 | 2283.015 | 35,500 | 48.12 |
| | D - 13 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.60 | 5625.928 | 13.025 | 2315.174 | 35,750 | 48.61 |
| | D - 14 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.965 | 2312.064 | 38,750 | 52.86 |
| PROMEDIO= | | | | | | | | | | 51.06 |
| E | E - 25 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.170 | 2348.622 | 38,250 | 52.18 |
| | E - 27 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.900 | 2300.473 | 36,250 | 49.45 |
| | E - 28 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.100 | 2336.139 | 39,000 | 53.21 |
| | E - 29 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.990 | 2316.523 | 37,500 | 51.16 |
| | E - 32 | 56 | 15.30 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 13.020 | 2321.873 | 41,000 | 55.93 |
| PROMEDIO= | | | | | | | | | | 52.39 |
| F | F - 18 | 56 | 15.3 | 183.854 | 30.3 | 5570.772 | 12.762 | 2290.885 | 37,000 | 50.81 |
| | F - 32 | 56 | 15.3 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.835 | 2288.881 | 37,750 | 51.50 |
| | F - 33 | 56 | 15.3 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.934 | 2306.536 | 40,750 | 55.59 |
| | F - 40 | 56 | 15.3 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.792 | 2281.213 | 44,500 | 60.71 |
| | F - 41 | 56 | 15.3 | 183.854 | 30.50 | 5607.543 | 12.854 | 2292.270 | 38,250 | 52.18 |
| PROMEDIO= | | | | | | | | | | 54.16 |

*DONDE: ESFUERZO A TENSION (T) = 2*C/(π*D*H)

4.5.2-5 PRUEBA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO AL ATAQUE DE AGENTES QUIMICOS.

El estudio de la durabilidad del concreto aun cuando identifica al congelamiento y deshielo, a los ácidos, sulfatos y a la abrasión como las principales causas de ataque al concreto, no tiene un método exacto que permita determinar con precisión la dinámica de las acciones y reacciones que estos elementos agresivos ejercen sobre el concreto. Generalmente se recurre a mediciones indirectas como la absorción, permeabilidad, desgaste y porcentaje de pérdida de peso parámetros que comunmente indican de forma aproximada y aceptable del posible comportamiento del concreto frente a la acción de agentes agresivos, ya sean estos de origen físico o químico.

La prueba de resistencia del concreto al ataque de agentes químicos consistió en someter cilindros de concreto de 10 x 20 cm al ataque cíclico de ácidos orgánicos y sulfatos como una forma de evaluar el comportamiento de concreto frente a la acción de estos elementos químicos. Los ácidos orgánicos y sulfatos usados en esta investigación son:

- Sulfato de Magnesio ($Mg SO_4$).
- Sulfato de Sodio ($Na SO_4$).
- Ácido Acético (CH_3-COOH)
- Ácido Láctico (C_3HCO_3).

Los cilindros fueron sometidos a 8 ciclos de prueba, tomándose como un ciclo de prueba un período de 24 horas, en el cual el espécimen de concreto era inmerso en solución de ácido o sulfatos y luego se dejaba secar al aire libre por otras 24 horas, luego se procedía a raspar los especímenes cilindricos con cepillos de alambre para eliminar la pasta de cemento

dañada por la acción de los ácidos o sulfatos, en cada caso se procedía a pesar los cilindros y a determinar el porcentaje de pérdida de peso en relación al peso inicial.

Preparación de las Soluciones de Acidos y Sulfatos.

Con respecto a la solución formada por los ácidos orgánicos, esta se preparó combinando en volumen 8.5 partes de agua con 1.5 partes de ácido (15% de ácido) en un recipiente plástico (cubeta), mientras que la solución para los sulfatos fue preparada combinando por peso 8 partes de agua con 2 partes de sulfato (20% de sulfato) en un recipiente plástico (8 kg de agua + 2 kg de sulfato).

Los especímenes se sometieron a esta prueba a la edad de 56 días de curado. Los porcentajes de pérdida de peso con respecto al peso inicial de los especímenes cilíndricos de 15 x 20 cm de cada mezcla elaborada se muestran en los siguientes cuadros:

PERDIDA PORCENTUAL EN PESO POR CICLO (AGREGADO DE 3/4")

CUADRO No. 4.37

M E Z C L A " A "

| SOLUCION | CILINDRO | C I C L O S | | | | | | | |
|---------------------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| SULFATO DE MAGNESIO | A - 1 | 0.070 | 0.070 | 0.230 | 0.632 | 0.703 | 0.726 | 0.773 | 0.773 |
| | A - 2 | 0.238 | 0.285 | 0.428 | 0.594 | 0.713 | 0.713 | 0.760 | 0.808 |
| | A - 3 | 0.427 | 0.498 | 0.617 | 0.712 | 0.759 | 0.817 | 0.830 | 0.830 |
| PROMEDIO | | 0.245 | 0.284 | 0.425 | 0.646 | 0.725 | 0.752 | 0.788 | 0.804 |
| SULFATO DE SODIO | A - 4 | 0.308 | 0.332 | 0.380 | 0.427 | 0.617 | 0.617 | 0.688 | 0.712 |
| | A - 5 | 0.330 | 0.377 | 0.400 | 0.518 | 0.636 | 0.683 | 0.683 | 0.753 |
| | A - 6 | 0.286 | 0.358 | 0.358 | 0.430 | 0.477 | 0.549 | 0.644 | 0.692 |
| PROMEDIO | | 0.308 | 0.356 | 0.379 | 0.458 | 0.677 | 0.616 | 0.672 | 0.719 |
| ACIDO ACETICO | A - 7 | 2.173 | 3.989 | 6.281 | 6.974 | 7.929 | 8.049 | 8.144 | 8.624 |
| | A - 8 | 2.430 | 4.694 | 6.290 | 7.076 | 7.791 | 7.958 | 8.268 | 8.721 |
| | A - 9 | 2.576 | 4.580 | 6.202 | 6.966 | 7.681 | 7.968 | 8.278 | 8.492 |
| PROMEDIO | | 2.393 | 4.421 | 6.258 | 7.005 | 7.800 | 7.992 | 8.230 | 8.612 |
| ACIDO LACTICO | A - 10 | 2.595 | 3.798 | 4.459 | 4.695 | 4.695 | 4.954 | 5.072 | 6.255 |
| | A - 11 | 2.470 | 3.538 | 4.180 | 4.536 | 4.583 | 4.654 | 5.271 | 6.151 |
| | A - 12 | 2.207 | 3.404 | 3.967 | 4.343 | 4.460 | 4.930 | 5.117 | 6.454 |
| PROMEDIO | | 2.424 | 3.580 | 4.202 | 4.525 | 4.579 | 4.846 | 5.153 | 6.287 |

CUADRO No. 4.38

M E Z C L A " B "

| SOLUCION | CILINDRO | C I C L O S | | | | | | | |
|---------------------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| SULFATO DE MAGNESIO | B - 1 | 0.00 | 0.094 | 0.257 | 0.445 | 0.491 | 0.679 | 0.679 | 0.702 |
| | B - 2 | 0.024 | 0.119 | 0.190 | 0.476 | 0.476 | 0.523 | 0.595 | 0.595 |
| | B - 3 | 0.024 | 0.142 | 0.379 | 0.545 | 0.592 | 0.592 | 0.613 | 0.615 |
| PROMEDIO | | 0.016 | 0.118 | 0.275 | 0.489 | 0.520 | 0.598 | 0.629 | 0.637 |
| SULFATO DE SODIO | B - 4 | 0.024 | 0.094 | 0.142 | 0.142 | 0.212 | 0.448 | 0.450 | 0.451 |
| | B - 5 | 0.095 | 0.142 | 0.213 | 0.450 | 0.498 | 0.569 | 0.569 | 0.610 |
| | B - 6 | 0.023 | 0.188 | 0.211 | 0.446 | 0.446 | 0.553 | 0.563 | 0.574 |
| PROMEDIO | | 0.047 | 0.141 | 0.189 | 0.346 | 0.385 | 0.523 | 0.527 | 0.545 |
| ACIDO ACETICO | B - 7 | 2.150 | 3.001 | 4.773 | 6.427 | 7.372 | 8.318 | 10.208 | 11.389 |
| | B - 8 | 1.957 | 3.555 | 5.440 | 6.943 | 7.779 | 8.733 | 9.735 | 10.976 |
| | B - 9 | 2.278 | 4.176 | 5.931 | 7.592 | 8.422 | 9.490 | 9.988 | 11.554 |
| PROMEDIO | | 2.128 | 3.577 | 5.381 | 6.987 | 7.858 | 8.847 | 9.977 | 11.306 |
| ACIDO LACTICO | B - 10 | 1.958 | 3.113 | 3.821 | 4.245 | 4.363 | 4.528 | 4.741 | 4.906 |
| | B - 11 | 1.965 | 3.159 | 3.088 | 4.305 | 4.539 | 4.656 | 4.820 | 4.984 |
| | B - 12 | 2.068 | 3.137 | 3.764 | 4.159 | 4.159 | 4.322 | 4.484 | 4.670 |
| PROMEDIO | | 1.997 | 3.136 | 3.558 | 4.236 | 4.354 | 4.502 | 4.682 | 4.853 |

CUADRO No. 4.39

M E Z C L A " C "

| SOLUCION | CILINDRO | C I C L O S | | | | | | | |
|---------------------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| SULFATO DE MAGNESIO | C - 1 | 0.024 | 0.190 | 0.261 | 0.428 | 0.547 | 0.549 | 0.508 | 0.523 |
| | C - 2 | 0.024 | 0.144 | 0.264 | 0.505 | 0.553 | 0.557 | 0.601 | 0.608 |
| | C - 3 | 0.096 | 0.240 | 0.335 | 0.335 | 0.335 | 0.338 | 0.400 | 0.410 |
| PROMEDIO | | 0.048 | 0.191 | 0.287 | 0.423 | 0.478 | 0.481 | 0.503 | 0.514 |
| SULFATO DE SODIO | C - 4 | 0.024 | 0.215 | 0.191 | 0.207 | 0.237 | 0.261 | 0.301 | 0.346 |
| | C - 5 | 0.049 | 0.097 | 0.194 | 0.199 | 0.231 | 0.254 | 0.296 | 0.351 |
| | C - 6 | 0.073 | 0.049 | 0.243 | 0.243 | 0.246 | 0.272 | 0.325 | 0.348 |
| PROMEDIO | | 0.049 | 0.120 | 0.209 | 0.216 | 0.238 | 0.262 | 0.307 | 0.348 |
| ACIDO ACETICO | C - 7 | 1.721 | 2.354 | 4.518 | 4.867 | 5.716 | 6.354 | 6.961 | 7.501 |
| | C - 8 | 1.961 | 2.788 | 4.748 | 4.98 | 5.814 | 6.232 | 6.814 | 7.614 |
| | C - 9 | 1.445 | 2.061 | 4.784 | 5.061 | 5.823 | 6.514 | 6.900 | 7.486 |
| PROMEDIO | | 1.709 | 2.401 | 4.683 | 4.969 | 5.784 | 6.367 | 6.892 | 7.534 |
| ACIDO LACTICO | C - 10 | 2.247 | 3.713 | 4.446 | 4.739 | 4.910 | 5.030 | 5.050 | 5.089 |
| | C - 11 | 2.429 | 3.872 | 4.521 | 5.002 | 5.051 | 5.060 | 5.091 | 5.115 |
| | C - 12 | 1.819 | 2.741 | 3.759 | 3.881 | 4.147 | 4.513 | 4.990 | 5.509 |
| PROMEDIO | | 2.165 | 3.442 | 4.242 | 4.541 | 4.703 | 4.868 | 5.044 | 5.238 |

PERDIDA PORCENTUAL EN PESO POR CICLO (AGREGADO DE 1/2")

CUADRO No. 4.40

M E Z C L A " D "

| SOLUCION | CILINDRO | C I C L O S | | | | | | | |
|---------------------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| SULFATO DE MAGNESIO | D - 1 | 0.119 | 0.238 | 0.428 | 0.666 | 0.666 | 0.834 | 0.863 | 0.894 |
| | D - 2 | 0.239 | 0.478 | 0.478 | 0.813 | 0.957 | 0.963 | 0.984 | 0.998 |
| | D - 3 | 0.120 | 0.263 | 0.383 | 0.861 | 0.502 | 0.764 | 0.793 | 0.864 |
| PROMEDIO | | 0.159 | 0.326 | 0.430 | 0.780 | 0.708 | 0.854 | 0.880 | 0.919 |
| SULFATO DE SODIO | D - 4 | 0.072 | 0.191 | 0.310 | 0.430 | 0.907 | 0.936 | 0.964 | 0.988 |
| | D - 5 | 0.071 | 0.071 | 0.260 | 0.426 | 0.592 | 0.667 | 0.854 | 0.953 |
| | D - 6 | 0.024 | 0.120 | 0.192 | 0.433 | 0.433 | 0.583 | 0.754 | 0.893 |
| PROMEDIO | | 0.056 | 0.127 | 0.254 | 0.430 | 0.644 | 0.729 | 0.857 | 0.945 |
| ACIDO ACETICO | D - 7 | 2.039 | 3.767 | 5.110 | 5.590 | 7.041 | 8.569 | 9.864 | 11.046 |
| | D - 8 | 2.059 | 3.754 | 5.473 | 5.788 | 6.894 | 8.000 | 9.378 | 11.214 |
| | D - 9 | 2.189 | 4.281 | 3.357 | 6.179 | 7.361 | 8.421 | 10.010 | 11.314 |
| PROMEDIO | | 2.096 | 3.934 | 4.647 | 5.852 | 7.099 | 8.330 | 9.751 | 11.191 |
| ACIDO LACTICO | D - 10 | 1.935 | 2.926 | 3.821 | 4.039 | 5.215 | 6.896 | 8.210 | 10.410 |
| | D - 11 | 2.174 | 3.011 | 4.014 | 4.182 | 5.424 | 7.201 | 8.415 | 11.481 |
| | D - 12 | 1.819 | 2.741 | 3.759 | 3.881 | 4.989 | 6.968 | 7.900 | 10.614 |
| PROMEDIO | | 1.976 | 2.893 | 3.865 | 4.034 | 5.209 | 7.022 | 8.175 | 10.835 |

CUADRO No. 4.41

M E Z C L A " E "

| SOLUCION | CILINDRO | C I C L O S | | | | | | | |
|---------------------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| SULFATO DE MAGNESIO | E - 1 | 0.144 | 0.216 | 0.456 | 0.563 | 0.594 | 0.635 | 0.696 | 0.743 |
| | E - 2 | 0.094 | 0.165 | 0.331 | 0.590 | 0.630 | 0.687 | 0.715 | 0.786 |
| | E - 3 | 0.072 | 0.119 | 0.263 | 0.597 | 0.641 | 0.690 | 0.736 | 0.790 |
| PROMEDIO | | 0.103 | 0.167 | 0.350 | 0.583 | 0.622 | 0.671 | 0.716 | 0.773 |
| SULFATO DE SODIO | E - 4 | 0.118 | 0.024 | 0.189 | 0.542 | 0.542 | 0.660 | 0.764 | 0.793 |
| | E - 5 | 0.166 | 0.261 | 0.261 | 0.499 | 0.617 | 0.617 | 0.812 | 0.852 |
| | E - 6 | 0.071 | 0.286 | 0.476 | 0.547 | 0.547 | 0.642 | 0.713 | 0.784 |
| PROMEDIO | | 0.118 | 0.190 | 0.309 | 0.529 | 0.569 | 0.640 | 0.763 | 0.810 |
| ACIDO ACETICO | E - 7 | 2.022 | 4.189 | 6.115 | 6.716 | 7.800 | 9.389 | 11.338 | 13.337 |
| | E - 8 | 1.913 | 4.044 | 5.932 | 6.901 | 7.627 | 9.492 | 10.412 | 12.252 |
| | E - 9 | 4.168 | 4.168 | 6.168 | 7.002 | 7.502 | 10.598 | 12.122 | 12.979 |
| PROMEDIO | | 2.701 | 4.134 | 6.072 | 6.873 | 7.643 | 9.826 | 11.291 | 12.856 |
| ACIDO LACTICO | E - 10 | 1.832 | 2.844 | 3.905 | 4.097 | 5.010 | 6.454 | 8.965 | 10.041 |
| | E - 11 | 1.968 | 3.024 | 4.009 | 4.201 | 4.915 | 5.878 | 8.814 | 11.030 |
| | E - 12 | 1.820 | 2.850 | 3.855 | 4.167 | 5.135 | 6.029 | 9.321 | 10.251 |
| PROMEDIO | | 1.873 | 2.906 | 3.923 | 4.155 | 5.020 | 6.120 | 9.033 | 10.774 |

CUADRO No. 4.42

M E Z C L A " F "

| SOLUCION | CILINDRO | C I C L O S | | | | | | | |
|---------------------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| SULFATO DE MAGNESIO | F - 1 | 0.243 | 0.437 | 0.461 | 0.461 | 0.476 | 0.49 | 0.501 | 0.510 |
| | F - 2 | 0.000 | 0.072 | 0.457 | 0.468 | 0.473 | 0.487 | 0.496 | 0.503 |
| | F - 3 | 0.146 | 0.146 | 0.195 | 0.208 | 0.22 | 0.236 | 0.242 | 0.257 |
| PROMEDIO | | 0.130 | 0.218 | 0.371 | 0.379 | 0.390 | 0.404 | 0.413 | 0.423 |
| SULFATO DE SODIO | F - 4 | 0.000 | 0.048 | 0.217 | 0.236 | 0.261 | 0.29 | 0.315 | 0.354 |
| | F - 5 | 0.121 | 0.218 | 0.256 | 0.266 | 0.287 | 0.312 | 0.334 | 0.371 |
| | F - 6 | 0.122 | 0.195 | 0.244 | 0.249 | 0.273 | 0.302 | 0.326 | 0.359 |
| PROMEDIO | | 0.081 | 0.154 | 0.239 | 0.250 | 0.274 | 0.301 | 0.325 | 0.361 |
| ACIDO ACETICO | F - 7 | 1.456 | 2.354 | 5.510 | 6.675 | 7.524 | 8.908 | 9.115 | 9.871 |
| | F - 8 | 1.757 | 2.635 | 5.879 | 6.807 | 8.392 | 9.515 | 9.678 | 9.948 |
| | F - 9 | 1.896 | 3.256 | 6.197 | 7.29 | 7.849 | 8.773 | 9.461 | 10.015 |
| PROMEDIO | | 1.703 | 2.748 | 5.862 | 6.924 | 7.922 | 9.065 | 9.418 | 9.945 |
| ACIDO LACTICO | F - 10 | 1.825 | 3.626 | 4.947 | 5.307 | 5.379 | 6.340 | 7.253 | 7.517 |
| | F - 11 | 2.091 | 3.890 | 5.057 | 5.300 | 5.422 | 6.054 | 7.586 | 8.510 |
| | F - 12 | 1.972 | 3.414 | 4.665 | 4.977 | 5.097 | 6.227 | 7.285 | 10.05 |
| PROMEDIO | | 1.963 | 3.643 | 4.890 | 5.195 | 5.299 | 6.207 | 7.375 | 8.692 |

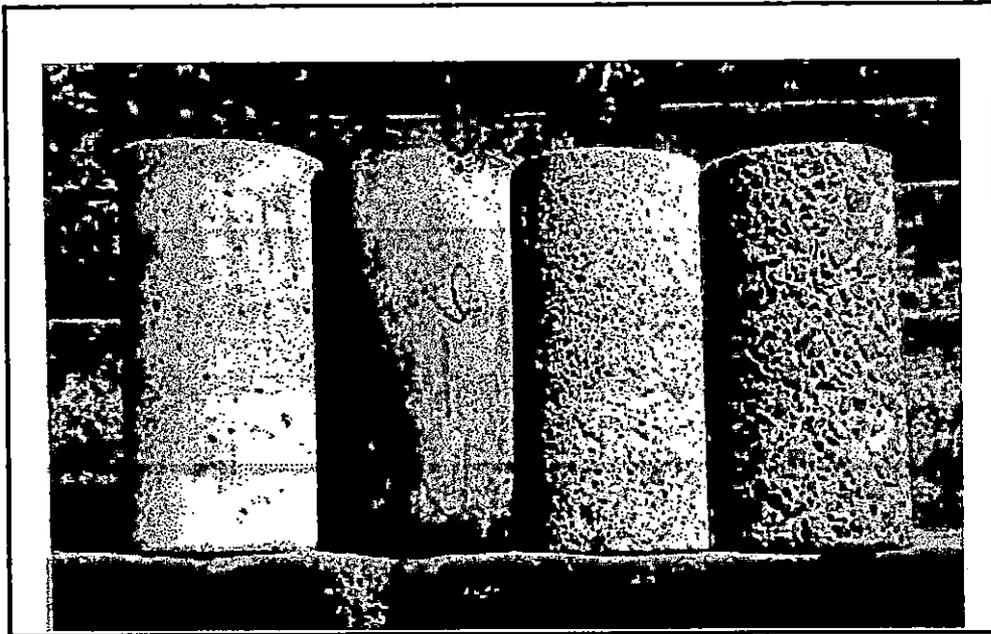
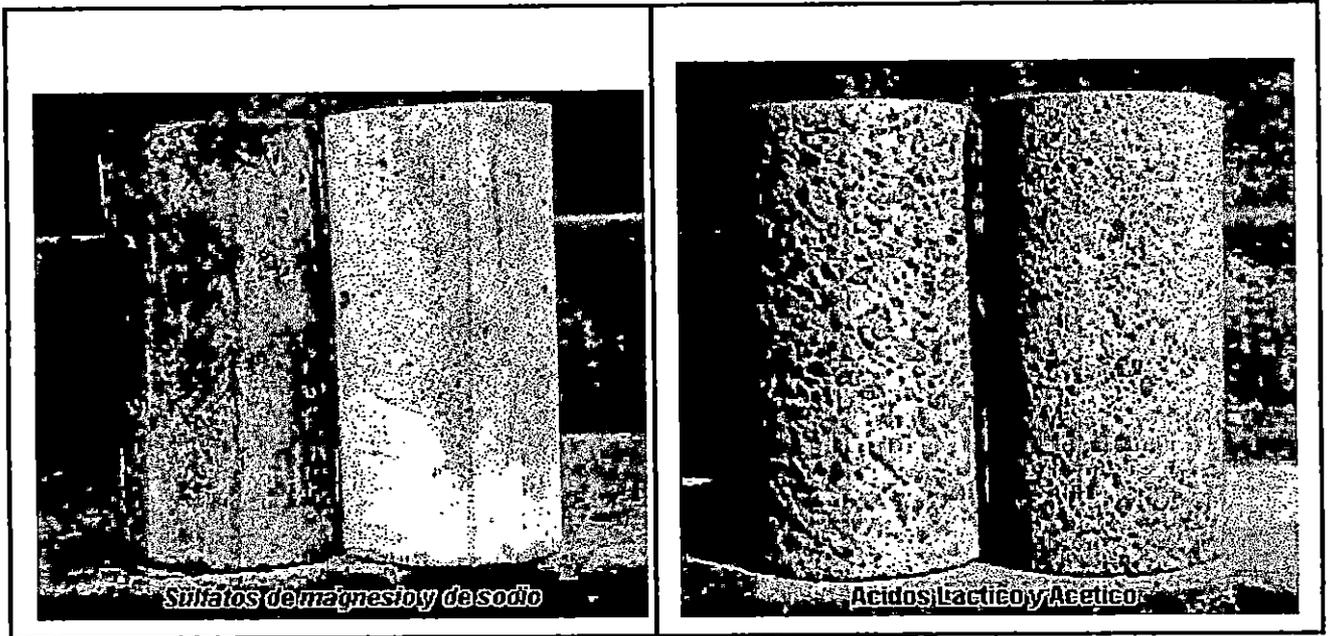


Fig. 4.5 Las fotografías muestran algunos especímenes de concreto de 10 x 20 cm después de ser sometidos a 8 ciclos de inmersión en las soluciones de sulfatos (Sodio y Magnesio) y ácidos (Acético y Láctico).

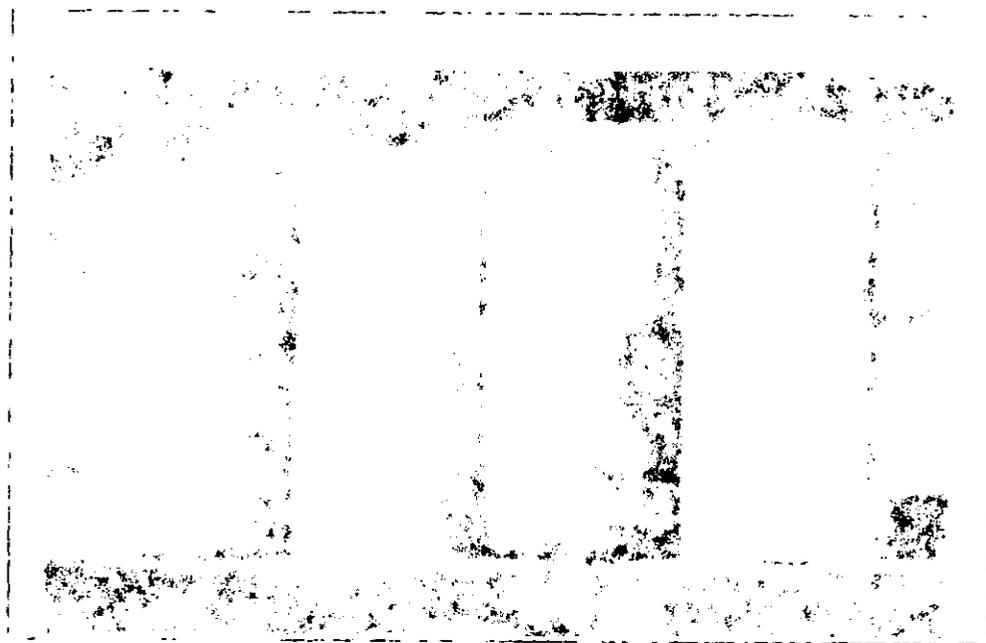
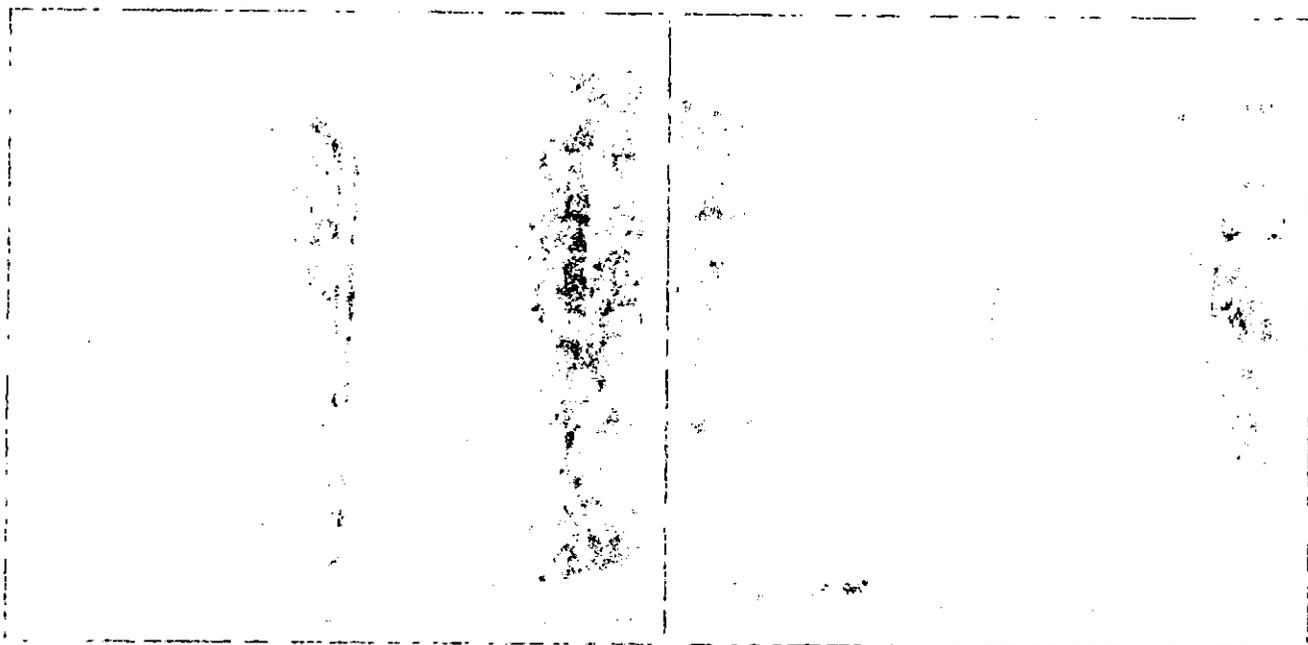


Fig. 2. The dark spots in the figure are the scanning artifacts of the scanning system. The dark spots in the figure are the scanning artifacts of the scanning system.

CAPITULO V

"ANALISIS DE RESULTADOS Y EVALUACION ECONOMICA DE LAS MEZCLAS"

5.1 INTRODUCCIÓN.

El análisis de los resultados obtenidos en todo trabajo experimental desarrollado se presenta en este capítulo, con el fin de facilitar la comprensión del procedimiento seguido para elaborar el Concreto de Gran Comportamiento. Se comienza analizando los resultados obtenidos en las pruebas que permitieron verificar la calidad de estos y luego se analiza el comportamiento que presentaron las mezclas de Concreto elaboradas, el cual se determinó por medio de pruebas realizadas a estas y para tener una noción del costo del concreto por metro cúbico se realizó una evaluación económica con precios de materiales en el mercado local. El capítulo termina con las conclusiones y recomendaciones realizadas en base a todo el trabajo desarrollado.

5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS A LOS COMPONENTES.

El análisis de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio realizadas a los materiales que componen las mezclas de concreto elaboradas se realizó para determinar si estos cumplían con los requisitos establecidos según las normas ASTM o con algunas recomendaciones dadas por comités ACI y poder así tener una idea de su calidad o datos necesarios para el diseño de mezclas. Los resultados presentados de cada prueba realizada son confiables debido al especial cuidado que se tomó en seguir los procedimientos y condiciones normados por la ASTM y también al suficiente número de veces en que estas pruebas se realizaban para poder tener un valor representativo. Esto es necesario hacerlo especialmente cuando un Concreto de Gran Comportamiento se diseña, el cual exige que todos sus componentes posean buena calidad, la cual tiene que ser cuidadosamente verificada en cada uno de estos para que este tipo de concreto pueda garantizar una alta durabilidad en cualquier condición de exposición.

Existen muchas pruebas que se pueden realizar especialmente a los agregados para verificar su calidad, como son las pruebas para determinar la sanidad y la cantidad de partículas ligeras contenidas en estos y dado que estas pruebas pueden proporcionar más parámetros para evaluar la calidad de los agregados sería de vital importancia realizarla no solo en los agregados para la elaboración de Concretos de Gran Comportamiento si no también en los utilizados en la elaboración de concretos normales.

Un resumen de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio realizadas a los componentes se muestran en la siguiente sección y los comentarios de los resultados para cada material se realiza posteriormente.

5.2.1 RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS A LOS COMPONENTES.

CUADRO 5.1 PRUEBA A LOS AGREGADOS (ARENA, GRAVA DE 3/4" Y 1/2")

| |
|---|
| PROCEDENCIA DE ARENA: RÍO JIBOA, DEPARTAMENTO DE LA PAZ. |
| PROCEDENCIA DE GRAVA DE 3/4" Y 1/2": "LA CANTERA S.A.". SAN DIEGO, DEPTO. DE LA LIBERTAD. |

| ENSAYOS (DATOS PROMEDIO) | ARENA | GRAVA DE 3/4" | GRAVA DE 1/2" |
|--|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| GRAVEDAD ESPECIFICA (G. E.) | 2.47 | 2.60 | 2.56 |
| ABSORCIÓN. (%) | 4.60 % | 1.49% | 1.97% |
| PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (kg/m ³) | 1480.22 | 1359.80 | 1376.42 |
| PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO (kg/m ³) | 1598.33 | 1432.53 | 1510.30 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%w) | a) 3.21% (estado seca) | a) 1.58% (estado húmeda) | a) 2.81% (estado húmeda) |
| | b) 4.05% (estado húmeda) | b) 1.29% (estado seca) | b) 1.92% (seca) |
| PRUEBA DE LOS ÁNGELES % DE DESGASTE (PROMEDIO) | | GRANULOMETRIA TIPO "B" 14.10% | GRANULOMETRIA TIPO "C" 15.31% |
| % DE PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS. | | 19.00% | 4.10% |

CEMENTO, ADITIVOS Y ADICIONES.

| | CEMENTO | ADITIVOS | | MICROSILICA |
|-----------------------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------|
| | CESSA 5000 | POWERMIX 100 | SLUMPMIX C | MEGAMIX P |
| GRAVEDAD ESPECIFICA (GE) | PORTLAN TIPO I | ADITIVOS TIPO "F" | ADITIVOS TIPO "G" | 2.2 |
| | 3.15 | 1.21 ± 0.01 | 1.25 ± 0.01 | |
| % DE SÓLIDOS | - | 43.03% | 37.96% | |

5.2.2 AGREGADO FINO.

La Arena utilizada en la pruebas de laboratorio y en las mezclas de concreto de esta investigación proviene del río Jiboa y su selección se determinó evaluando los antecedentes que esta arena ha presentado en las investigaciones realizadas anteriormente sobre los Concretos de Gran Comportamiento.

Los resultados obtenidos de los ensayos realizados en la Arena como son las Impurezas Orgánicas, Análisis Granulométrico y Módulo de Finura son detallados a continuación.

- Impurezas Orgánicas: 8 muestras de Arena fueron ensayadas con solución de hidróxido de Sodio, de acuerdo al procedimiento que la norma ASTM C-40 especifica. Determinándose que la Arena se encontraba libre de impurezas orgánicas, ya que el color de la solución de cada una de las 8 muestras al compararlas con la carta de colores No. 815 Hellige de ASTM C-40, resultaron tener un color más claro que el color No. 1 de dicha carta de colores.

- Análisis Granulométrico: Se realizaron 6 granulometrías de Arena de acuerdo al método de ensayo que la norma ASTM C-136 establece, al analizar las curvas granulométricas de las muestras de Arena, se determinó que cumplían con los límites de graduación especificados en la norma ASTM C-33, pero para ello fue necesario tamizar la arena por la malla 3/8", ya que se observó que el agregado fino presentaba una gran cantidad de partículas gruesas. En la sección 4.3.1-2 se muestran las gráficas de 3 granulometrías de 6 ensayos realizados, y que fueron las que mayor representatividad obtuvieron en cuanto a su graduación y Módulo de Finura.

- Módulo de Finura: Un valor promedio de 2.65 fue el resultado alcanzado al realizar la suma de porcentajes obtenidos por las mallas No.4 a la No.100 de 3 análisis granulométricos realizados, lo que se puede clasificar como una arena media, que es

aceptable para elaborar Concretos de Gran Comportamiento, aunque se recomiendan arenas con módulos de finura mayores de 3 para estos concretos, la arena del río Jiboa resultó apropiada en la elaboración de las mezclas de concreto.

En la Cuadro No. 5.1 se presenta un resumen de los valores obtenidos de las demás pruebas realizadas al agregado fino tales como Gravedad Específica, % de Absorción, Peso Unitario y Contenido de Humedad.

Como puede observarse la Gravedad Específica y el % de Absorción obtenidos son 2.47 y 4.60% respectivamente, valores promedio que fueron determinados de 7 ensayos realizados simultáneamente de acuerdo al método de prueba según la norma ASTM C-128. Se puede indicar que los valores de Gravedad Específica obtenidos son aceptables ya que según la PCA (Portland Cement Association), la mayoría de los agregados naturales tienen densidades relativas entre 2.4 y 2.9.⁸⁵ En cuanto a la Absorción el resultado obtenido es aceptable de acuerdo a investigaciones que especifican que un agregado es de buena calidad si la absorción no excede de 3% en el agregado grueso y 5% en el agregado fino⁸⁶, por lo que el % de Absorción de la Arena se encuentra en el rango admisible, aunque casi cercano al valor especificado, pero esto se debió a que la arena presentaba regular cantidad de partículas ligeras.

Los valores de peso unitario de la arena mostrados en la tabla anterior, son datos promedio de 3 ensayos, realizados tanto para el Peso Volumétrico Suelto como para Peso Volumétrico Varillado cuyos valores son 1480.22 Kg/mt³ y 1598.37 Kg/mt³ respectivamente, estos pesos unitarios están dentro del rango especificado para los concretos de peso normal que varían aproximadamente de 1200 Kg/mt³ y 1760 Kg/mt³.

⁸⁵ "Diseño y Control de Mezclas de Concreto", Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, AC. Steven H. Kosmata y Willian C. Panarese, "Agregados para el Concreto", pag. 38, PCA, 1992.

⁸⁶ "Manual de Tecnología del Concreto", Comisión Federal de Electricidad, sección I, Ediciones Limusa, Preedición 1994, México pag. 128.

Estos datos normalmente sirven para el control de calidad en los agregados, aunque estos pesos unitarios se determinaron con la finalidad de obtener un parámetro de comparación entre agregado fino y grueso.

- Los Contenidos de Humedad de la Arena se obtuvieron de muestras en estado natural con la variante que fueron tamizadas por la malla de 3/8" por poseer partículas gruesas, este procedimiento se realizó porque en la elaboración de las mezclas concreto se utilizó la arena en esta condición. Los contenidos de Humedad se determinaron del promedio de 3 muestras ensayadas de acuerdo al método de prueba de la norma ASTM C-566. Los valores que se presentan son de 2 muestreos realizados en diferentes partes del acopio de arena, para el Contenido de Humedad de 3.21% este se obtuvo de la parte superior del acopio encontrándose la arena en estado seca y para el valor de 4.05% se obtuvo de la parte inferior encontrándose la Arena húmeda, estos valores fueron ocupados en las correcciones de agua del diseño de las mezclas de concreto.

5.2.3 AGREGADOS GRUESOS.

- Para la grava con tamaño máximo de 19 mm (3/4") la curva granulométrica obtenida se ubicó dentro de los límites establecidos por la norma ASTM C-33, pero con una parte acercándose a los límites superiores, resultando un porcentaje alto de partículas gruesas (74.39% retenido en la malla de 1/2" (12.7 mm). El porcentaje de partículas más finas resultó adecuado. Para la grava con tamaño máximo de 12.7 mm (1/2") la curva granulométrica también se ubica dentro de sus respectivos límites establecidos por la norma, su contenido de partículas gruesas es moderado (7.44 retenido en la malla de 1/2" y 31.73% retenido en la malla de 3/8"), pero con un bajo contenido de partículas finas.

Con ambos tamaños de grava utilizado no se tuvo problemas con la trabajabilidad del concreto porque su graduación es conveniente a pesar de lo mencionado anteriormente.

Con respecto al porcentaje de partículas planas y alargadas contenidas en estas gravas resultaron ser menores del 20% recomendado por el ACI 207 (19% para grava de 19 mm y 4.10% para grava de 12.7 mm). Esto también benefició la trabajabilidad del concreto.

- La gravedad específica y absorción obtenidas para ambos agregados gruesos ($G.E.=2.60$ y $\%Abs=1.49\%$ para grava de 19 mm, $G.E.=2.56$ y $\%Abs=1.97$ para grava de 12.7 mm) están dentro de los rangos recomendados. Gravedades específicas entre 2.4 y 2.9 son recomendables para obtener concretos con peso unitario normal entre 2200 y 2550 Kg/m^3 y absorciones entre 1.5 a 2.5 son recomendables para no afectar demasiado el agua utilizada en las mezclas de concreto especialmente cuando se trabaja con relaciones $A/(C+P)$ bajas.

- Los valores de peso volumétrico varillado obtenidos para grava de 19 mm (3/4") es de 1432.53 Kg/m^3 , para grava de 12.7 mm (1/2") es de 1510.30 Kg/m^3 y están dentro del rango de 1200 a 1760 Kg/m^3 considerados para agregados de peso unitario normal recomendables para obtener concretos de peso unitario normal.

- En las pruebas de resistencia al desgaste de los agregados gruesos, se obtuvo valores aceptables y por debajo de la pérdida máxima permisible del 50% (14.30% para grava de 19mm (3/4"), y 15.30% para grava de 12.7 mm (1/2")), además en la prueba de resistencia del concreto al ataque de agentes químicos como el ácido láctico y acético, ambos agregados presentaron buena resistencia porque en estos no se observó desgaste. Por lo tanto pueden utilizarse estos como agregados potenciales para la elaboración de Concretos de Gran Comportamiento.

- Los contenidos de humedad total determinados después de lavar la grava, dependieron de la condición en que se utilizaba, variando entre 1.58% recién lavada a 1.29% secada al ambiente para la grava de 19 mm (3/4"), resultando menor que los contenidos de humedad obtenidos en las mismas condiciones para la grava de 12.7 mm (1/2") variando entre 2.81%

recién lavada a 1.92% secada a ambiente. Esto resultó ser beneficioso para hacer las correcciones al agua que se utilizaba en las mezclas de concreto.

5.2.4 CEMENTO.

La prueba de consistencia normal del cemento CESSA 5000 (ASTM C-150, tipo I), se realizó para encontrar la cantidad de agua requerida en la pasta de cemento que sirve para determinar los tiempos de fraguado. Esta cantidad de agua para la consistencia normal del cemento varió entre 157 ml y 158 ml para una muestra de 650 gr. y bajo las temperaturas que se establecen en la norma ASTM C-187.

Los tiempos de fraguado del cemento fueron determinados para asegurar que este presenta un fraguado normal y esperar que la rigidización de la pasta de cemento evolucionará gradualmente. Con los tiempos de fraguado determinados en el cemento no se pueden estimar los tiempos para pasar del estado plástico al rígido de las mezclas de concreto diseñadas debido al uso de altos contenidos de cemento y aditivos superplastificantes. Sin embargo se comprobó que el cemento cumple con los tiempos de fraguado que establece la norma ASTM C-150 para cementos tipo I, que deben estar entre 45 min. a 6 horas más 15 minutos. Obteniéndose para un primer ensayo un fraguado inicial en 127.5 min. y el fraguado final en 165 min. Para el segundo ensayo el fraguado inicial fue en 108.75 min. y el fraguado final fue en 120 min.

La resistencia a compresión de los cubos de mortero de cemento a la edad de 7 días fue de 220.43 Kg/cm² y a la edad de 28 días para el primer grupo de cubos fue de 301.29 Kg/cm² y para el segundo grupo fue de 288.86 Kg/cm², cumpliendo con las resistencias mínimas que requiere la Norma ASTM C-150 para el cemento tipo I con 190 Kg/cm² a los 7 días y como requisito opcional 280 Kg/cm² a los 28 días.

La gravedad específica del cemento fue proporcionado por el fabricante (G.E.=3.15)

5.2.5 ADITIVOS Y ADICIONES.

Para los aditivos Superplastificantes utilizados solamente se determinó el porcentaje de sólidos contenidos en los mismos, para estimar la cantidad de agua que poseen y poder así realizar las correcciones al agua de las mezclas elaboradas. El porcentaje de sólidos en peso para el aditivo tipo "F" (Edecon Power Mix 100) fue de 43.03% y para el aditivo tipo G (Edecon SlumpMix C) fue de 37.86%. El agua agregada a las mezclas de concreto con aditivos eran corregidas por humedad de los agregados y también por el contenido líquido de los aditivos superplastificantes. Por el comportamiento del concreto fresco según los revenimientos obtenidos (sección 5.3.2.2) y apariencia del mismo (sin sangrado) se puede evaluar que las correcciones al agua fueron bastante precisas, por tanto el porcentaje de sólidos en los aditivos y el contenido de humedad de los agregados fueron determinados correctamente.

En cuanto a las gravedades específicas de los superplastificantes fueron proporcionadas por el fabricante (Edecon PowerMix 100 1.21 ± 0.01 y SlumpMix C 1.25 ± 0.01).

A la microsíllica no se le hizo ningún ensayo y la gravedad específica fue proporcionada por el fabricante (G.E.=2.2).

5.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO.

5.3.1 RESUMEN DE LAS PROPORCIONES DE LAS MEZCLAS ELABORADAS.

CUADRO No. 5.2 PROPORCIONES DE LAS MEZCLAS

| INFORMACIÓN DE LAS MEZCLAS. | M E Z C L A S | | | | | |
|---|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | A | B | C | D | E | F |
| TIPO DE CEMENTO | I | I | I | I | I | I |
| RELACIÓN A/C | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 |
| AGUA NOMINAL (Lt/mt ³) | 200.00 | 165.00 | 170.00 | 200.00 | 165.00 | 170.00 |
| AGUA CORREGIDA (Lt/mt ³) | 206.56 | 169.28 | 169.67 | 200.56 | 163.29 | 163.15 |
| CEMENTO (Kg/mt ³) | 666.67 | 550.00 | 510.00 | 666.67 | 550.00 | 510.00 |
| MICROSILICA (Kg/mt ³) | - | - | 56.87 | - | - | 56.67 |
| AGREGADO FINO (Kg/mt ³) | 548.10 | 729.10 | 675.56 | 578.69 | 759.69 | 706.15 |
| AGREGADO GRUESO (Kg/mt ³) | 931.31 | 931.31 | 931.31 | 885.06 | 885.06 | 885.06 |
| ADITIVO TIPO F (Lt/mt ³) * | - | 4.12 | 8.50 | - | 4.12 | 8.86 |
| ADITIVO TIPO G (Lt/mt ³) ** | - | 2.41 | 3.54 | - | 2.41 | 3.90 |

* ADITIVO EDECON POWER MIX 100 (REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO)

** ADITIVO EDECON SLUMPMIX-C (REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO RETARDANTE)

5.3.2 COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.

5.3.2-1 OBSERVACIONES EN LA DOSIFICACIÓN Y MEZCLADO DEL CONCRETO.

El orden de carga de los componentes del concreto a la mezcladora (sección 4.5.1-1) resultó eficiente para obtener un buen comportamiento del concreto en estado fresco y en estado endurecido. Los tiempos de mezclado para las mezclas de control (A, D), y para las

mezclas con aditivos superplastificantes (B, E) después de cargar completamente los materiales fluctuaba de 3 a 4 minutos dependiendo de la apariencia que presentaba el concreto. En cuanto a las mezclas con aditivos superplastificantes más microsilica (C, F) se requería de un tiempo mayor de mezclado de 5 a 6 minutos, la diferencia con respecto al tiempo de mezclado de las demás mezclas no es mucho debido a que se aumentó el porcentaje de aditivos superplastificantes que permitió una mayor manejabilidad en éstas mezclas y un mezclado más rápido. El uso de microsilica tiende a reducir la trabajabilidad y a incrementar la cohesividad del concreto y se vuelve necesario aumentar el porcentaje de aditivos superplastificantes con respecto a mezclas sin microsilica para mantener el revenimiento sin usar agua. El uso de la microsilica en las mezclas C y F evitó completamente la segregación y el sangrado en el concreto fresco, proporcionándole además un color gris claro. Las mezclas A y D debido a su alto contenido de cemento (666.67 Kg/mt^3) y poca agua (200.00 Kg/mt^3) no presentaron segregación ni sangrado al igual que las mezclas B y E, aún con los porcentajes de aditivos superplastificantes aplicados.

5.3.2-2 TRABAJABILIDAD Y TEMPERATURAS OBTENIDAS.

Los revenimientos obtenidos para las mezclas de control A y D fueron generalmente de 5 cm y la pérdida de trabajabilidad era aproximadamente a los 10 minutos después del mezclado. La poca trabajabilidad de estas mezclas obligaba a usar el vibrador de inmersión para consolidar el concreto en los moldes. Los revenimientos obtenidos para las demás mezclas B, C E y F variaban entre 21 a 25 cm generalmente y la pérdida de trabajabilidad era aproximadamente a las 2 horas después del mezclado. Este comportamiento de estas mezclas se debe al uso de los superplastificantes utilizados. De acuerdo a los revenimientos alcanzados las mezclas B, C, E y F resultaron ser bastante trabajables y pueden ser

catalogadas como mezclas de Concreto de Gran Comportamiento en estado fresco por su alta fluidez y en estado endurecido por su alta resistencia alcanzada.

Los mezclados y colados del concreto, se planificó hacerlos en las horas más cálidas del día para asemejar las temperaturas ambientales con que se trabaja en las obras de construcción, sin embargo, el clima variaba y el trabajo se hizo tanto en tiempo cálido como en tiempo fresco (Temperaturas ambientales entre 30°C a 25°C). Las temperaturas del concreto obtenidas para todas las mezclas eran casi semejantes y variaban entre 29°C a 27°C. En el siguiente cuadro se muestran las condiciones en que se elaboraron las mezclas y también las temperaturas y revenimientos obtenidos en el concreto.

CUADRO No. 5.3 TEMPERATURAS Y REVENIMIENTOS OBTENIDOS EN EL CONCRETO

| CONCEPTO | M E Z C L A S | | | | | |
|------------------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | A | B | C | D | E | F |
| RELACIÓN A/C ó A/(C+P) | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 |
| SUPERPLASTIFICANTE TIPO F | - | 0.75% | 1.50% | - | 0.75% | 1.583% |
| SUPERPLASTIFICANTE TIPO G | - | 0.438% | 0.625% | - | 0.438% | 0.688% |
| MICROSILICA | - | - | 10 % | - | - | 10 % |
| TEMPERATURA DEL AGUA | 27°C | 27°C | 27°C | 27°C | 26°C | 26°C |
| TEMPERATURA DEL DEL AMBIENTE | 28.5°C | 28.5°C | 25°C | 28.5°C | 25°C | 25°C |
| TEMPERATURA DEL CONCRETO | 28°C | 28°C | 28°C | 28°C | 28°C | 27°C |
| REVENIMIENTO. | 5 cm | 21 cm | 23 cm | 5 cm | 25 cm | 23 cm |

5.3.3 COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.

5.3.3-1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN OBTENIDAS A DIFERENTES EDADES.

Los resultados de las resistencias a compresión promedio obtenidos en los especímenes cilíndricos de concreto (15x30) cm a diferentes edades de prueba se muestra en el siguiente cuadro.

CUADRO No. 5.4

| MEZCLA | RESISTENCIA A COMPRESIÓN OBTENIDA EN EL CONCRETO A DIFERENTES EDADES Kg/cm ² . | | | |
|--------|---|---------|---------|---------|
| | 7 días | 28 días | 56 días | 90 días |
| A | 494.154 | 590.989 | 614.647 | 736.778 |
| B | 563.150 | 687.974 | 776.193 | 818.801 |
| C | 482.171 | 663.396 | 781.645 | 842.136 |
| D | 556.148 | 648.474 | 736.335 | 774.104 |
| E | 595.174 | 664.981 | 819.692 | 872.241 |
| F | 575.160 | 685.294 | 804.511 | 853.032 |

Comparando las resistencias obtenidas de las mezclas "A, B y C" se observa que la mezcla "C" que contiene microsílca a la edad de 7 días tenía una menor resistencia (482.171 Kg/cm²) con respecto a las mezclas "A y B" (494.154 y 563.150 Kg/cm² respectivamente), sin embargo a la edad de 28 días comienza a superarse y obtiene mayor resistencia (663.396 Kg/cm²), que la mezcla "A" pero aún no alcanzó a la mezcla "B" con 687.974 Kg/cm² a los 28 días. A la edad de 56 días la mezcla "C" con 781.645 Kg/cm² ya ha superado a las mezclas "A y B" y continúa aumentando hasta los 90 días llegando a tener una resistencia a compresión de 842.136 Kg/cm² que es la máxima alcanzada de las tres mezclas elaboradas con agregado de 3/4" (19 mm).

Para las mezclas elaboradas con agregado de 1/2" (12.7 mm), mezclas "D, E y F", se observa que la resistencia de la mezcla "F" que contiene microsilica a los 7 días (575.160 Kg/cm²) es mayor que la resistencia de la mezcla de control "D" (556.148 Kg/cm²), pero menor que la resistencia de la mezcla "E" (595.174 Kg/cm²), sin embargo a la edad de 28 días la mezcla "F" supera a las mezclas "D y E" con 685.294 Kg/cm² de resistencia, no obstante a la edad de 56 días la mezcla "E" supera a las mezclas "D y F" con 819.692 Kg/cm² aumentando hasta los 90 días, llegando a obtener 872.241 Kg/cm², que es la máxima resistencia a compresión obtenida de las seis mezclas elaboradas.

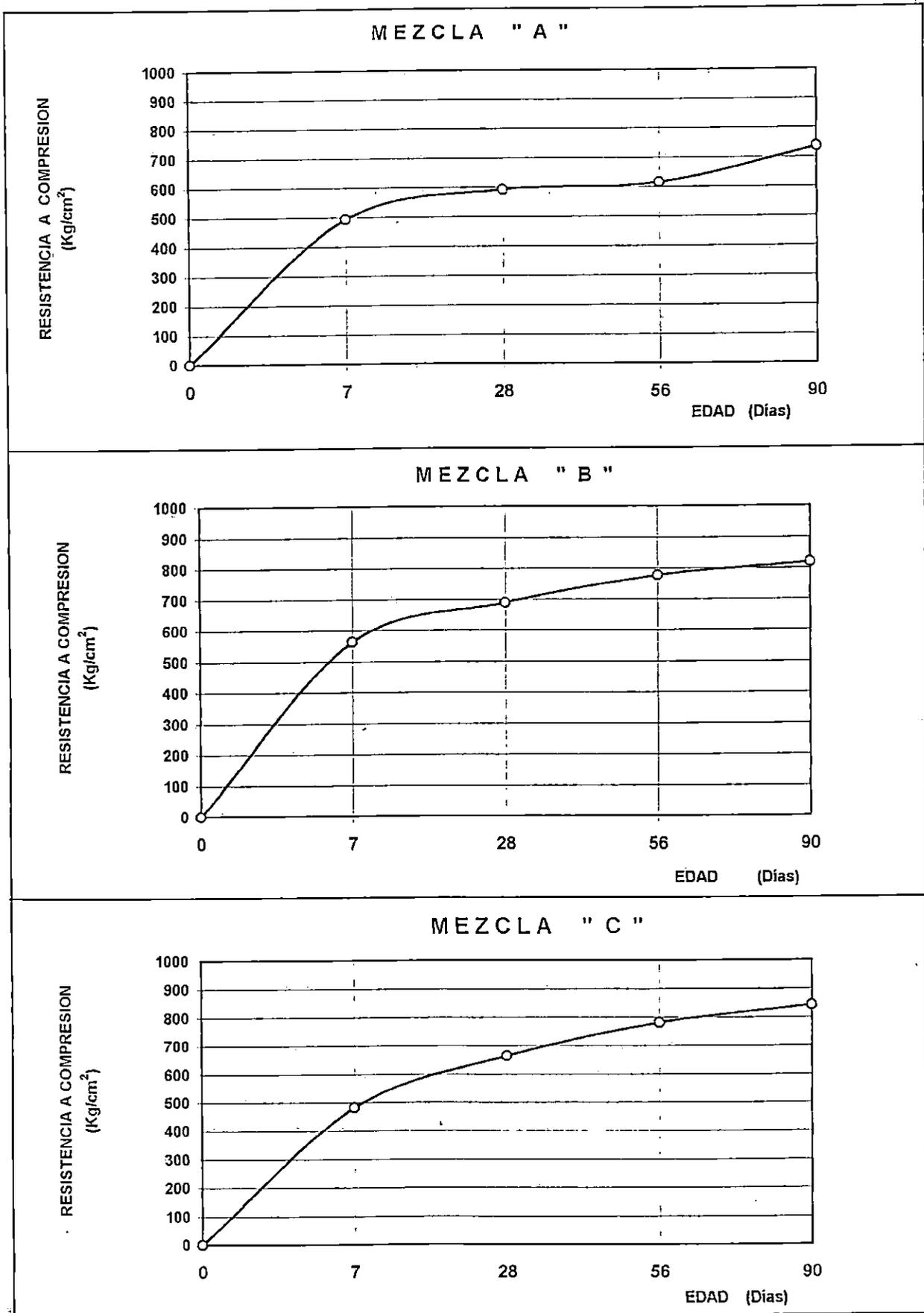
Las mezclas "D, E y F" con grava de 1/2" (12.7 mm) tienen un nivel de resistencia a compresión mayor que las mezclas "A, B y C" con grava de 19mm (3/4"). Por lo tanto de usarse una grava más pequeña con tamaño máximo de 9.5 mm (3/8") se podrían obtener mayores resistencias si se mantienen constantes los demás materiales utilizados. También se debe considerar que las mezclas que contienen microsilica "C y F" (ambas con 510 kg/mt³ de cemento y 56 kg/mt³ de microsilica) tienen un nivel de resistencia semejante con respecto a las mezclas "B y E" (ambas con 550 kg/mt³ de cemento) a pesar de que la microsilica se utilizó como sustitución parcial del 10% del contenido de cemento y no como adición, que es lo más recomendable para ganar resistencia.

El peso volumétrico de las mezclas C y F es ligeramente menor con respecto al peso volumétrico de las demás mezcla, debido a que la densidad de la microsilica es menor y produce un efecto de disminución en el peso volumétrico del concreto. Si un mayor porcentaje de microsilica es utilizado como sustitución o adición al contenido de cemento se tendrían menores pesos volumétricos del concreto. En el cuadro siguiente se muestran los pesos volumétricos del concreto endurecido determinado como promedio de 15 especímenes cilíndricos a la edad de 56 días para las seis mezclas elaboradas.

CUADRO 5.5

| Peso Volumétrico del concreto a los 56 días | |
|---|-------------------------------------|
| Mezcla | Peso Volumétrico Kg/mt ³ |
| A | 2335.26 |
| B | 2344.45 |
| C | 2310.60 |
| D | 2314.44 |
| E | 2333.57 |
| F | 2274.13 |
| * C y F mezclas con microsilica. | |

El desarrollo de la resistencia a la compresión promedio con respecto a la edad de curado de las seis mezclas elaboradas se muestra en las gráficas siguientes, donde se puede notar que las mezclas "B, C, E y F" ganan mayor resistencia con respecto a las mezclas de control A y D y también que las mezclas con agregado de 12.7 mm (1/2"), "D, E y F" ganan mayor resistencia que las mezclas con agregado de 19 mm (3/4"), "A, B y C".



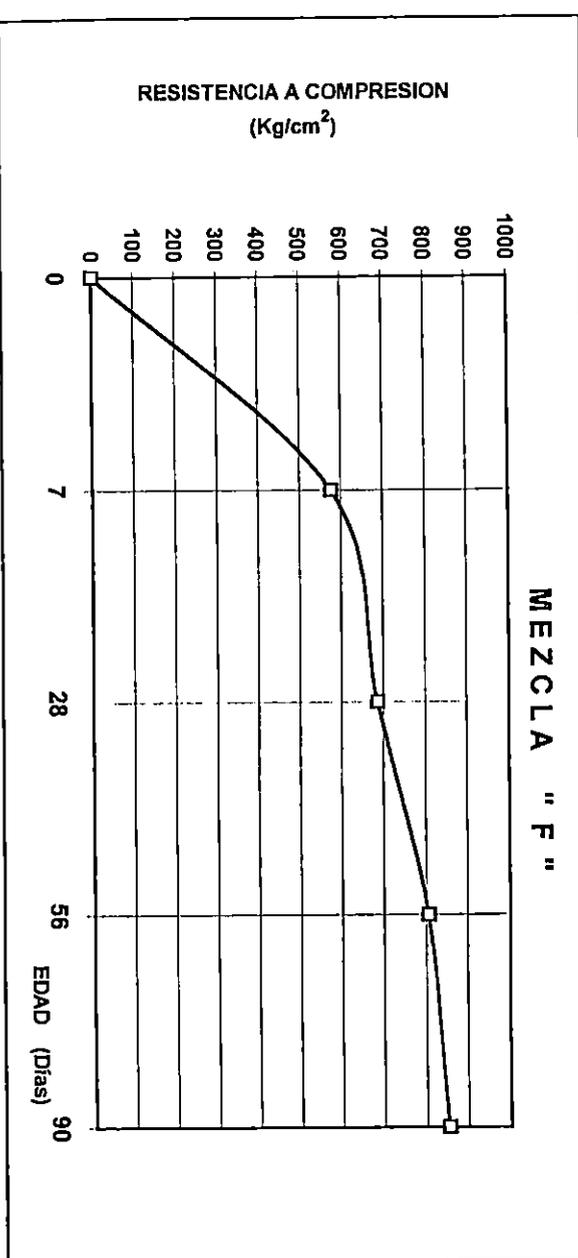
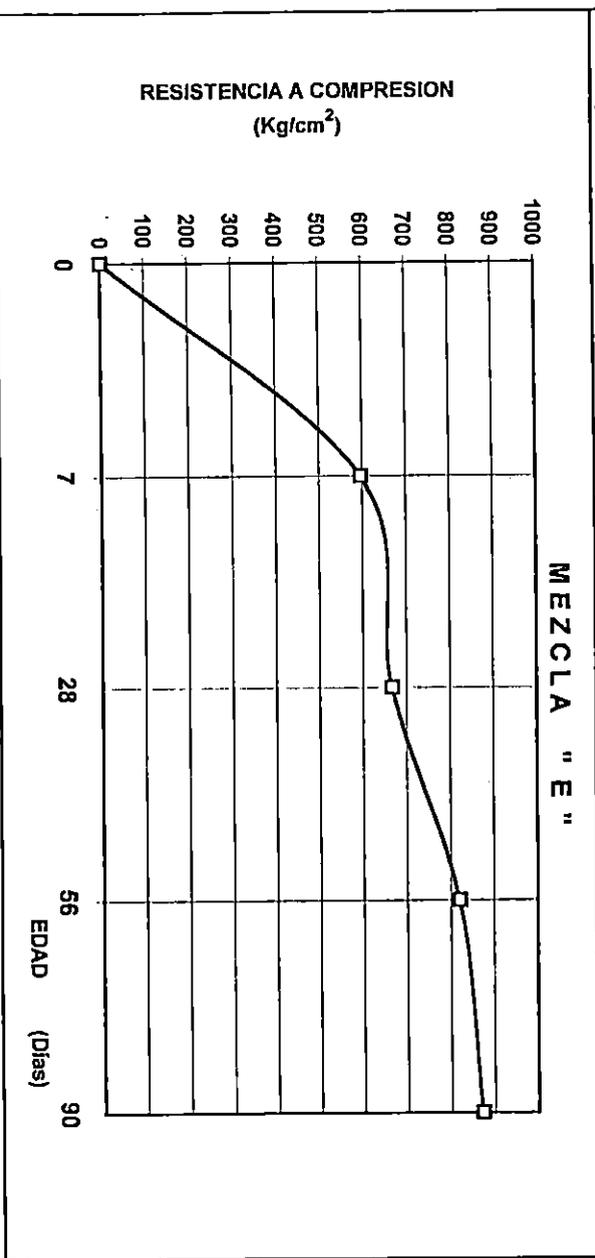
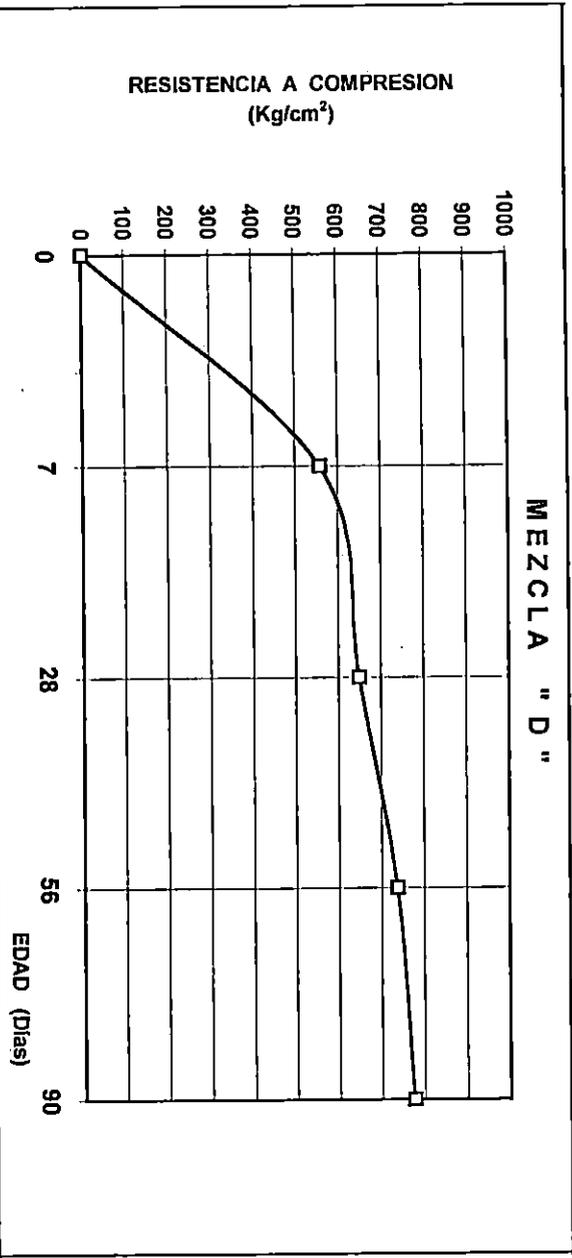


GRAFICO COMPARATIVO DE RESISTENCIAS A COMPRESION - EDAD DEL CONCRETO ENTRE LAS MEZCLAS : " A " - " B " - " C ".

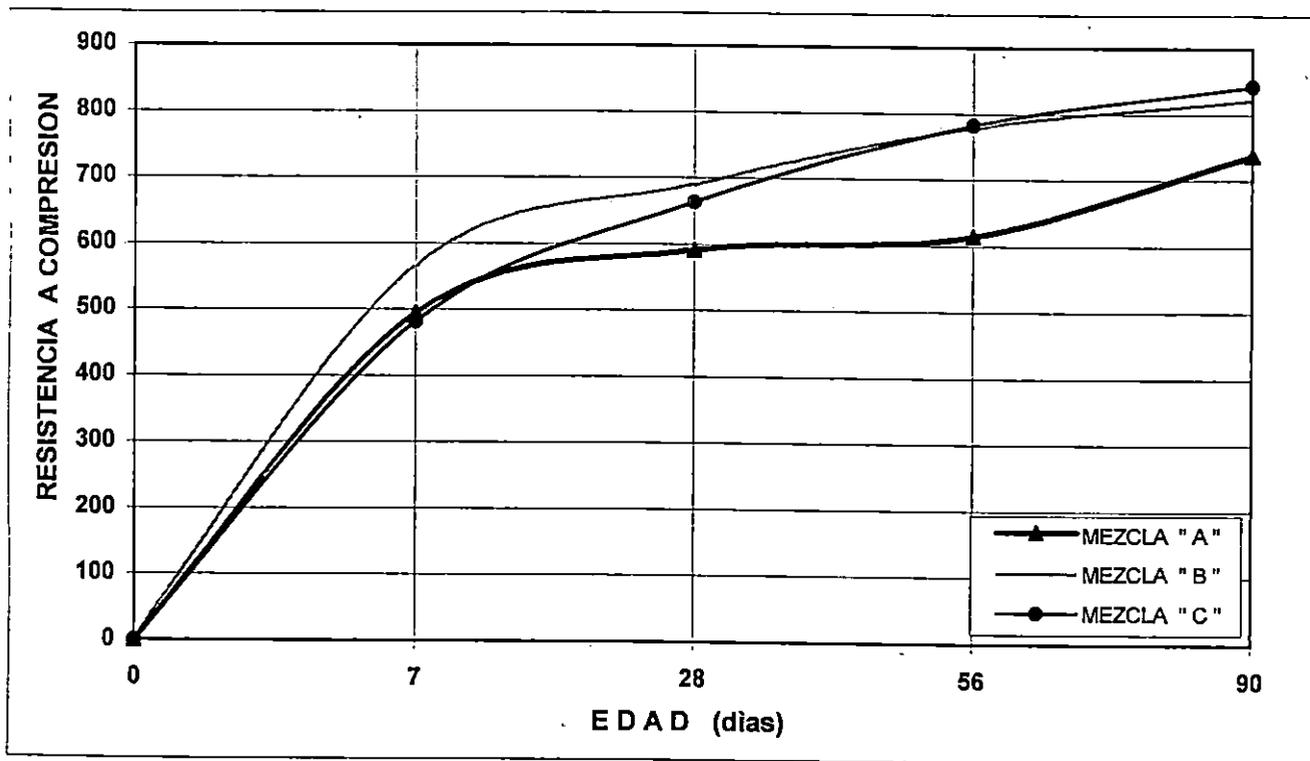


GRAFICO COMPARATIVO DE RESISTENCIAS A COMPRESION - EDAD DEL CONCRETO ENTRE LAS MEZCLAS : " D " - " E " - " F ".

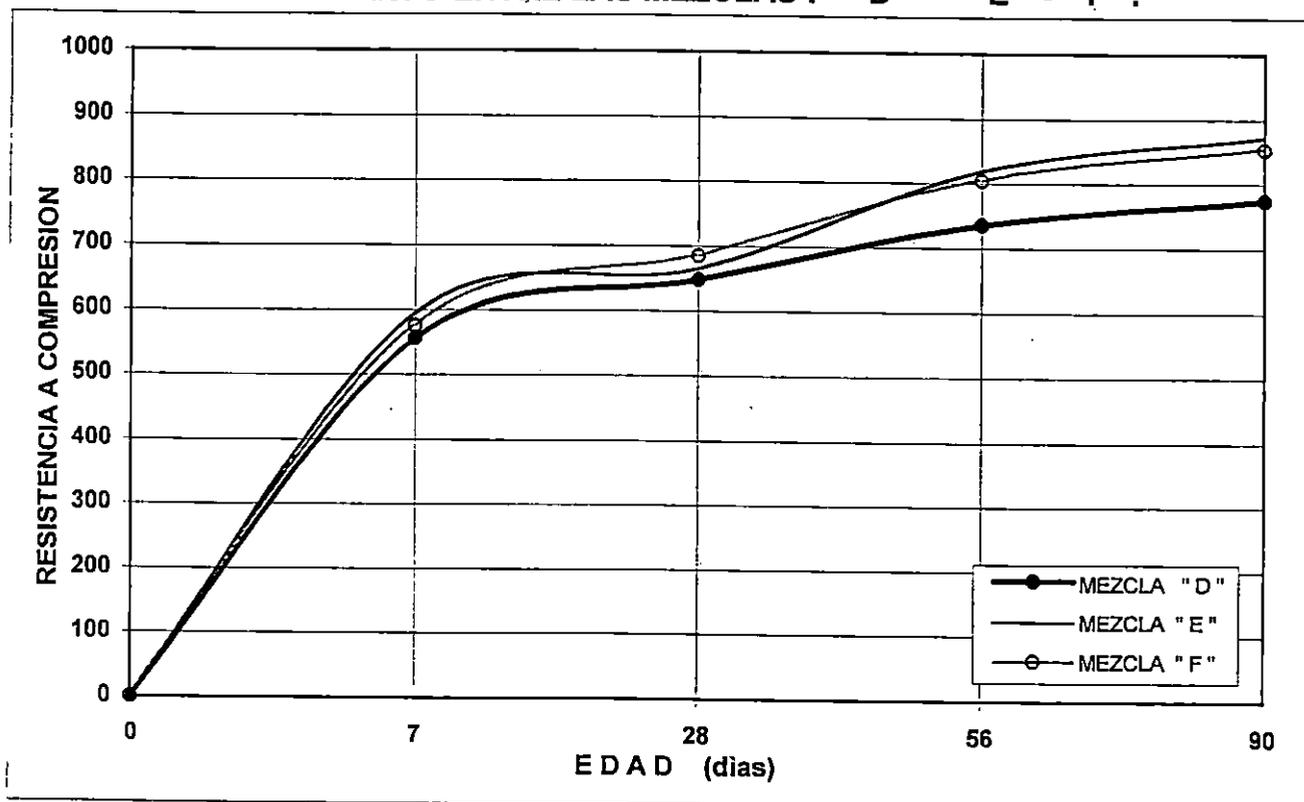
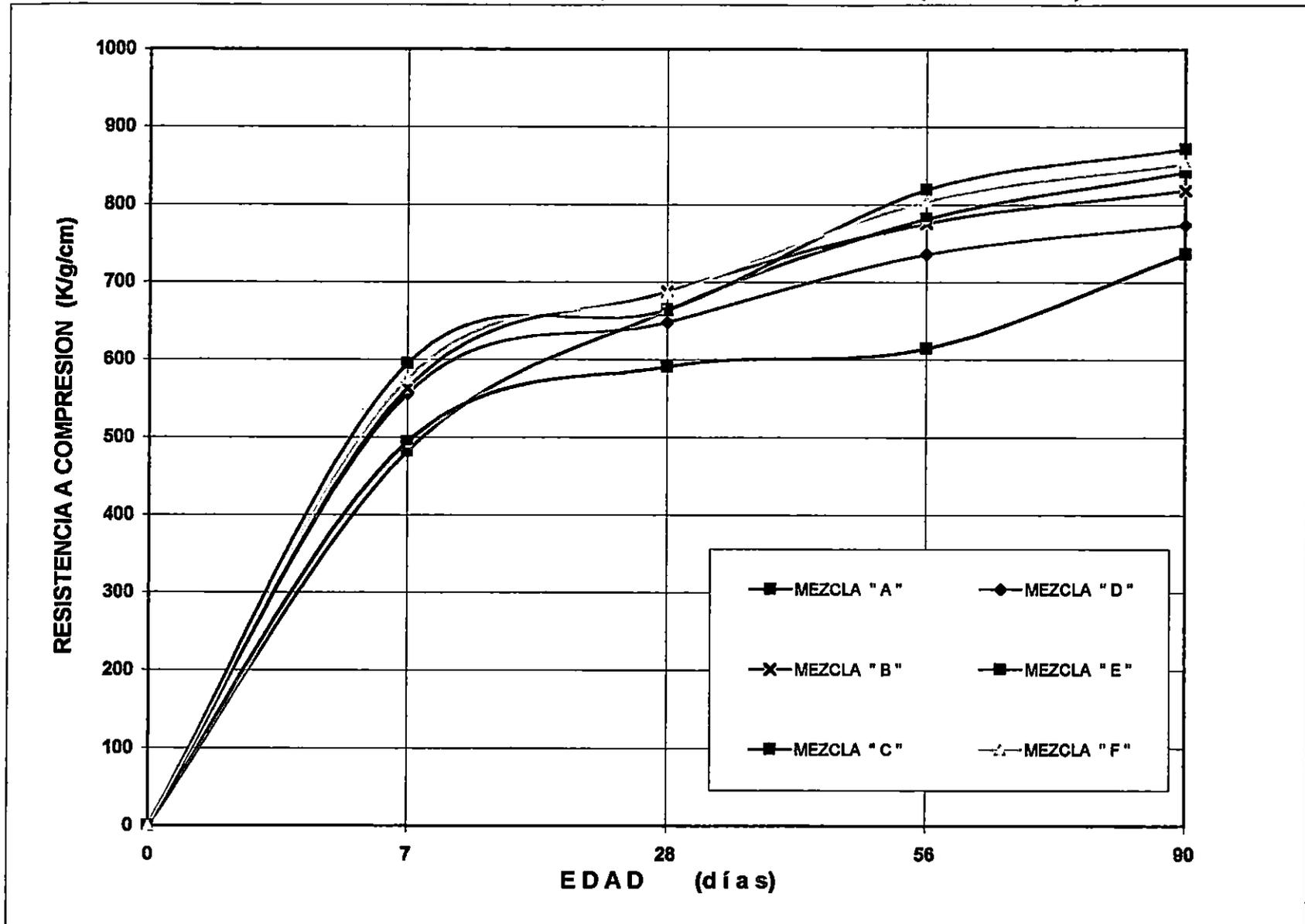


GRAFICO 5.4

**GRAFICA COMPARATIVA DE RESISTENCIAS A COMPRESION - EDAD DEL CONCRETO
ENTRE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS DE CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO**

MEZCLAS A - B - C (GRAVA DE 3/4")

MEZCLAS: D - E - F (GRAVA DE 1/2")



5.3.3-2 RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA OBTENIDA A LOS 56 DÍAS.

La resistencia a la tensión indirecta obtenida para todas las mezclas en el ensayo, es similar a la tensión indirecta calculada con la ecuación que correlaciona a esta con la resistencia a la compresión que según el ACI 363 y como se mencionó en la sección 2.5.1-2 para concretos con alta resistencia es:

$$f_{sp} = 0.59 \sqrt{f_c} \quad f_c \text{ en Mpa}$$

$$f_{sp} = 1.884 \sqrt{f_c} \quad \text{para } 210 \text{ Kg/cm}^2 < f_c < 830 \text{ Kg/cm}^2$$

La correlación se hizo con la resistencia a la compresión obtenida a los 56 días, los resultados son los siguientes:

CUADRO No. 5.6

| CORRELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y LA TENSIÓN INDIRECTA DEL CONCRETO. | | | |
|---|---|---|---|
| MEZCLA | f_c A los 56 días (Kg/cm ²) | Tensión Indirecta Esperada. * (Kg/cm ²) | Tensión Indirecta obtenida a los 56 días ASTM C-496 (Kg/cm ²) |
| A | 614.647 | 46.72 | 47.54 |
| B | 776.193 | 52.49 | 51.36 |
| C | 781.645 | 52.68 | 55.84 |
| D | 736.335 | 51.13 | 51.06 |
| E | 819.692 | 53.95 | 52.39 |
| F | 804.511 | 53.45 | 54.16 |

* $T = 1.884 \sqrt{f_c}$

5.3.4 4 COMPARACIÓN DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS DE CONCRETO CON INVESTIGACIONES ANTERIORES.

El diseño de las mezclas de Concreto es un factor muy importante y lo es más cuando se trata de Concretos de Gran Comportamiento, donde se busca la combinación más económica y práctica que permita lograr un equilibrio entre la selección de las proporciones, requisitos de colocación, resistencia, durabilidad apariencia y economía razonables.

En este numeral se hace una comparación con los diseños de mezclas de Concreto de Gran Comportamiento hechos en investigaciones anteriores, tomando en cuenta únicamente los valores de las proporciones, la consistencia en estado plástico y las resistencias obtenidas para cada diseño y dosificación de mezcla a los 7, 28, 56 y 90 días de edad respectivamente.

Las investigaciones a analizar son las siguientes:

- INVESTIGACIÓN I: Estudio de Concreto con Alta Resistencia a la Agresión Provocada por la contaminación del medio ambiente (1^{ra} Parte).
- INVESTIGACIÓN II: Estudio de Concreto con Alta Resistencia a la Agresión Provocada por la contaminación del medio ambiente (2^{ra} Parte).
- INVESTIGACIÓN ACTUAL: Concreto de Gran Comportamiento: Consideraciones Básicas y Económicas para su Aplicación.

A continuación se muestra el Cuadro comparativo de estas investigaciones, cuyo objetivo es proporcionar la información necesaria acerca de los estudios realizados de Concretos de Gran Comportamiento en nuestro país.

CUADRO No. 5.7 COMPARACION DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS CON INVESTIGACIONES ANTERIORES

| INVESTIGACION | MEZCLA | TIPO DE CEMENTO | INFORMACION DE LAS MEZCLAS | | | | | | | | | | RESISTENCIA A LA COMPRESION (Kg/cm ²) | | | |
|---------------|--------|-----------------|----------------------------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---|---------|---------|---------|
| | | PORTLAND (ASTM) | A/C | AGUA | CEMENTO | MICRO-SILICA | AGREGADO FINO | AGREGADO GRUESO | ADITIVO TIPO A | ADITIVO TIPO F | ADITIVO TIPO G | REV. | 7 Dias | 28 Dias | 56 Dias | 90 Dias |
| | | | | | Kg/mt ³ | Lts/mt ³ | Lts/mt ³ | Lts/mt ³ | Cm | | | |
| I | A | IPM | 0.27 | 215 | 796.3 | - | 335.0 | 1011.3 | - | - | - | 5 | 327.50 | 510.9 | 581.0 | 549.9 |
| | B | IPM | 0.28 | 190 | 678.6 | - | 452.8 | 1019.5 | 10.18 | - | - | 12.5 | 327.47 | 515.4 | 591.0 | 462.83 |
| | C | IPM | 0.29 | 190 | 582.9 | 47.0 | 404.3 | 976.6 | 9.46 | - | - | 8 | 326.00 | 445.6 | 316.1 | 420.2 |
| | D | IPM | 0.33 | 190 | 575.8 | 42.9 | 505.9 | 1019.5 | 8.66 | - | - | 5 | 199.77 | 480.2 | 486.3 | 463.4 |
| | E | IPM | 0.33 | 214 | 601.2 | 48.5 | 399.2 | 1019.5 | 9.73 | - | - | 4 | 204.07 | - | 416.1 | 360.8 |
| | F | IPM | 0.32 | 205 | 640.6 | - | 576.4 | 969.3 | 9.55 | - | - | 14 | 380.07 | 546.7 | 633.8 | 543.7 |
| | G | IPM | 0.33 | 205 | 572.2 | 46.0 | 552.8 | 969.3 | 9.29 | - | - | 10 | 389.03 | 566.7 | 549.7 | 519.13 |
| | H | IPM | 0.31 | 205 | 682.2 | 33.1 | 550.2 | 969.3 | 10.18 | - | - | 7 | 371.07 | 451.4 | 493.6 | 469.17 |
| II | A | IPM | 0.30 | 200.00 | 666.67 | - | 567.22 | 958.44 | - | - | - | 5.50 | 323.24 | 420.30 | 481. | 496.74 |
| | B | IPM | 0.30 | 200.00 | 666.67 | - | 542.90 | 952.77 | 13.33 | - | - | 12.50 | 340.57 | 506.81 | 548.46 | 623.74 |
| | C | IPM | 0.34 | 200.00 | 545.24 | 43.00 | 582.30 | 952.77 | 14.71 | - | - | 15.0 | 327.83 | 436.51 | 504.24 | 523.08 |
| III | A | I | 0.30 | 200.00 | 666.67 | - | 548.10 | 931.31 | - | - | - | 5.0 | 494.154 | 590.989 | 614.647 | 736.778 |
| | B | I | 0.30 | 165.00 | 550.00 | - | 729.10 | 931.31 | - | 4.12 | 2.40 | 21.0 | 563.150 | 687.974 | 776.193 | 818.801 |
| | C | I | 0.30 | 170.00 | 510.00 | 56.67 | 675.56 | 931.31 | - | 8.50 | 3.54 | 23.0 | 482.171 | 663.396 | 781.645 | 842.136 |
| | D | I | 0.30 | 200.00 | 666.67 | - | 578.69 | 885.06 | - | - | - | 5.0 | 556.148 | 648.474 | 736.335 | 774.104 |
| | E | I | 0.30 | 165.00 | 550.00 | - | 759.69 | 885.06 | - | 4.12 | 2.40 | 25.0 | 595.174 | 664.981 | 819.692 | 872.241 |
| | F | I | 0.30 | 170.00 | 510.00 | 56.67 | 706.15 | 885.06 | - | 8.86 | 3.90 | 23.0 | 575.160 | 685.294 | 804.511 | 853.032 |

- I- ESTUDIO DE CONCRETOS CON ALTA RESISTENCIA A LA AGRESION PROVOCADA POR LA CONTAMINACION DEL MEDIO AMBIENTE. (1ª PARTE).
 II- ESTUDIO DE CONCRETOS CON ALTA RESISTENCIA A LA AGRESION PROVOCADA POR LA CONTAMINACION DEL MEDIO AMBIENTE. (2ª PARTE).
 III- CONCRETO DE GRAN COMPORTAMIENTO: CONSIDERACIONES BASICAS Y ECONOMICAS PARA SU APLICACIÓN. (INVESTIGACION ACTUAL).

| INVESTIGACION | * MICRO-SILICA | | ** ADITIVOS | | |
|---------------|------------------|-----------------------------|---------------------|--|------------------------|
| | NOMBRE | FABRICANTE | NOMBRE | TIPO | FABRICANTE |
| I | SIKAFUME | SIKA ANDINA S.A. | SIKAMENT | REDUCTOR DE AGUA TIPO A | SIKA ANDINA S.A. |
| II | FORCE 10,000 | GRACE construction products | SIKAMENT | REDUCTOR DE AGUA TIPO A | SIKA ANDINA S.A. |
| III | EDECON MEGAMIX P | CONCRETE CONTROL INC | EDECON POWERMIX 100 | REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO TIPO F. | CONCRETE CONTROLS INC. |
| | | | EDECON SLUMPMIX-C | REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO TIPO G | |

| | | |
|----------------|--|--|
| *** AGREGADOS: | INVESTIGACION I: GRAVA DE 3/4", ARENA DEL RIO LAS CAÑAS, Y DEL RIO JIBOA. | INVESTIGACION II: GRAVA DE 3/4" Y ARENA DEL RIO JIBOA. |
| GRAVA Y ARENA | INVESTIGACION III (ACTUAL): GRAVA DE 3/4" MEZCLAS: A - B - C; GRAVA DE 1/2" MEZCLAS: D - E - F y ARENA DEL RIO JIBOA | |

5.3.3-4 RESULTADOS DE PRUEBAS DE RESISTENCIA DEL CONCRETO AL ATAQUE DE AGENTES QUÍMICOS.

Una de las formas de agresión al concreto es el ataque químico y en todo caso el comportamiento del concreto frente a los agentes químicos depende de las condiciones de exposición y de la misma composición interna del concreto. Generalmente el concreto no es atacado por sustancias químicas secas y sólidas, para deteriorarlo las sustancias químicas deben estar en solución y sobrepasar un determinado mínimo de concentración⁸⁷. Los agentes químicos que comúnmente atacan al concreto son los ácidos y los sulfatos que por su amplia existencia en aguas y suelos pueden hacer que la vida del mejor concreto sea corta. En la realidad los ácidos y sulfatos no atacan por separado, si no que ejercen una acción simultánea cuyos efectos dan origen a otros fenómenos fisico-químicos que contribuyen de forma acelerada al deterioro del concreto.

• ATAQUE DE ÁCIDOS.

En términos generales el cemento portland no tiene resistencia al ataque de ácidos, sin embargo puede tolerar algunos ácidos débiles⁸⁸. Los ácidos usados son de origen orgánico siendo el ácido acético el más agresivo al concreto, hay que decir que de forma general los cilindros mas afectados fueron los pertenecientes a las mezclas con agregados de 1/2", observándose que los cilindros de la mezcla "E" tuvieron el mayor porcentaje de pérdida de peso con un 12.856% al ser probados con ácido acético, así mismo la mezcla de control "D" presento un 11.91% de desgaste y la mezcla "F" fue la menos afectada con un 9.945% de pérdida por peso.

⁸⁷ ACI 201 "Durabilidad del Concreto", IMCYC, 1983, pag. 29.

⁸⁸ ACI 201 "Durabilidad del Concreto", IMCYC, 1988, Pag. 34.

En cuanto a los cilindros con agregado de 3/4" el ácido acético presento el mismo patrón de ataque resultando más afectada la mezcla "B" con 11.309% de pérdida mientras que las mezclas "A y C" mostraron un 8.492% y 7.534% de pérdida respectivamente.

El ácido acético es altamente agresivo, debido a que presenta una mayor cantidad de sales solubles, además se disocia parcialmente en la solución y por eso reacciona continuamente con el concreto mientras que otros ácidos se disocian completamente y al reaccionar con el concreto la solución se torna menos agresiva.

Durante los ciclos de prueba la solución de ácido acético tomo un color rojo y al introducir los especímenes en la solución se observó una reacción efervescente que era mucho mayor en los cilindros de las mezclas "B y E" que únicamente contenían aditivos.

El ácido láctico fue un poco más moderado en lo referente al ataque pero también en esta prueba los cilindros más afectados fueron los de las mezclas con agregado de 1/2", las mezclas "D y E" presentaron pérdidas de 10.835% y 10.774% respectivamente con lo que se puede concluir que el ataque fue igual, la mezcla "F" mostró una mayor resistencia a este ácido mostrando una pérdida de 8.692%.

En las mezclas con agregado de 3/4" los cilindros de la mezcla "A" resultaron más afectados con 6.287% de pérdida. La mezcla "B" fue muy resistente al Ácido Láctico con un desgaste de 4.853% y la mezcla "C" mostró una pérdida de 5.234%.

El ácido Láctico tomo un color amarillo y la solución se volvió bastante espesa adheriendose a los cilindros y tomando un color blanco cuando estos estaban secos.

- **ATAQUE POR SULFATOS:**

En las pruebas realizadas con sulfatos el porcentaje de pérdida de peso fue mínimo, en ningún caso mayor de 1% debido a que el mecanismo de ataque de los sulfatos consiste en expansión y este fenómeno requiere ciclos de prueba relativamente largos, en todo caso el desgaste mostrado por los cilindros se debió a la acción del cepillo de alambre usado para remover de la superficie del concreto los cristales formados por los sulfatos durante los ciclos de humedecido y secado.

Aún cuando el grado de exposición del concreto a los sulfatos fue mucho mayor que el recomendado por el ACI 201, en ningún espécimen de las diferentes mezclas se observaron signos visibles de expansión o agrietamiento, pero también al igual que en el ataque de ácidos los especímenes de las mezclas con agregado de 1/2" resultaron más afectados por los sulfatos de sodio y magnesio.

Con relación a los especímenes de agregado de 3/4" los más afectados fueron los sometidos a la acción del sulfato de magnesio, donde la mezcla "A" resultó más afectada, le sigue en menor grado la mezcla "B" y aunque hay investigadores que sugieren al sulfato de magnesio como un químico que daña más a los concretos que contienen microsilica en nuestro caso se observó lo contrario en la mezcla "C", cuyos resultados de desgaste fueron los menores en todas las pruebas.

El sulfato de sodio fue menos severo que el sulfato de magnesio, los especímenes con agregado de 1/2" sometidos al ataque del sulfato de sodio se mostraron más afectados que los cilindros de 3/4" siendo la mezcla más afectada la mezcla "D" y las mezclas "E" y "F" fueron menos afectadas respectivamente.

Con el objeto de evaluar cualitativamente los efectos de los ataques químicos en el concreto investigadores japoneses han propuesto un cuadro y fórmula donde se toma en cuenta los cambios de peso en porcentaje, la apariencia superficial y el color superficial, el cuadro No. 5.8 muestra los criterios mediante los cuales se puede evaluar la resistencia química del concreto, hay que aclarar que el porcentaje de cambio de peso depende de la concentración del químico y de la intensidad del contacto entre el agente químico y el concreto, en nuestro caso la duración de los ciclos de prueba fue corta, causando que el desgaste fuera moderado, el cuadro No. 5.9 muestra los valores promedio de pérdida porcentual de peso por ciclos obtenidos en la prueba realizada, los cuales al ser evaluados en el cuadro No. 5.8 nos permiten obtener una apreciación de la calidad del concreto, la cual es mostrada en el cuadro No. 5.10 además para un mejor análisis se muestran gráficas de la pérdida porcentual de peso por ciclos de las diferentes mezclas sometidas a ataque químico.

CUADRO No. 5.8 CRITERIO DE EVALUACION DE LA RESISTENCIA QUIMICA DEL CONCRETO⁸⁹

| PARAMETRO | EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO | | | | |
|--|-------------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|------------------|
| Perimetro Evaluado | 5- Muy Buena | 4-Buena | 3- Regular | 2- Mala | 1- Muy Mala |
| Porcentaje de Cambio de Peso** (CP). | -2 a +4 | -2 a -10 +4 a +12 | -10 a -25 +12 a +20 | -25 a -35 +20 a +30 | > -35 > +30 |
| Cambios en Apariencia Superficial (AS). | Sin Cambio | Cambio Perceptible | Rugosidad Pequeña | Rugosidad Media | Colapso Completo |
| Cambios en el Color de la Superficie (SC). | Sim Cambio | Cambio Perceptible | Cambio Mediano | Cambio muy Notorio | Cambio Excesivo |

** Positivo indica perdida de peso y Negativo aumento de Peso.

$$\text{Calificacion Total} = \frac{1.8 (\text{CP}) + 0.8 (\text{AS}) + 0.4 (\text{SC})}{3}$$

CUADRO No. 5.9 PERDIDA PORCENTUAL PROMEDIO DE PESO POR CICLOS

| SOLUCION | PERDIDA EN PESO POR PORCENTAJE | | | | | |
|---------------------|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | MEZCLA "A" | MEZCLA "B" | MEZCLA "C" | MEZCLA "D" | MEZCLA "E" | MEZCLA "F" |
| SULFATO DE MAGNESIO | 0.790 | 0.637 | 0.514 | 0.919 | 0.773 | 0.423 |
| SULFATO DE SODIO | 0.719 | 0.545 | 0.348 | 0.945 | 0.809 | 0.361 |
| ACIDO ACETICO | 8.492 | 11.309 | 7.534 | 11.191 | 12.856 | 9.945 |
| ACIDO LACTICO | 6.287 | 4.853 | 5.234 | 10.835 | 10.774 | 8.642 |

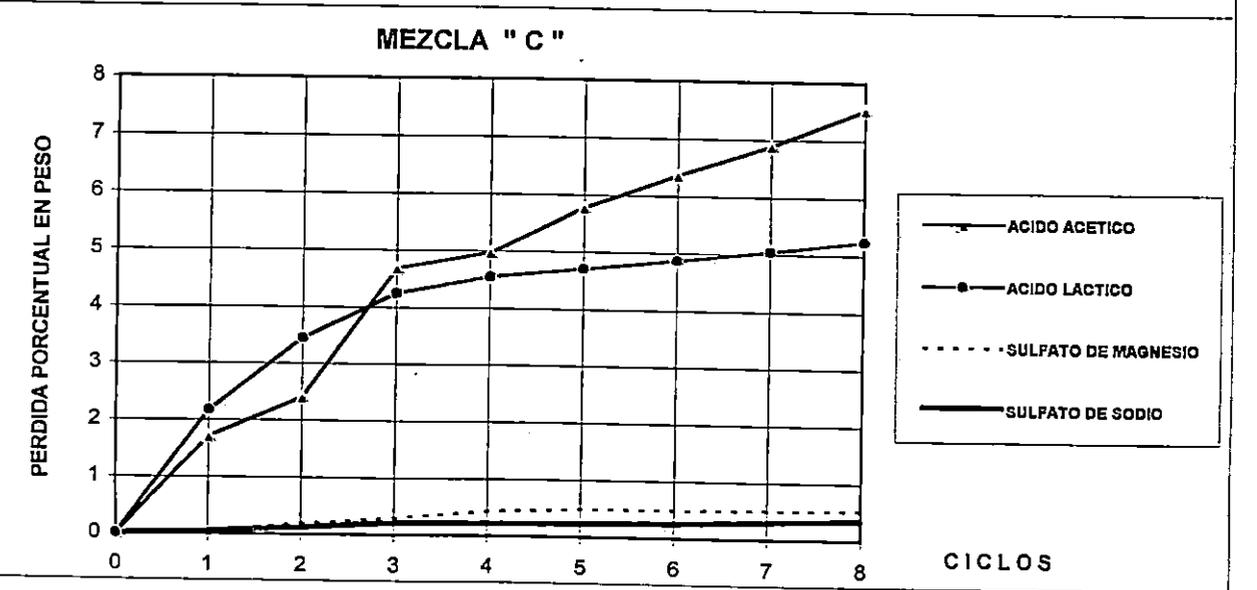
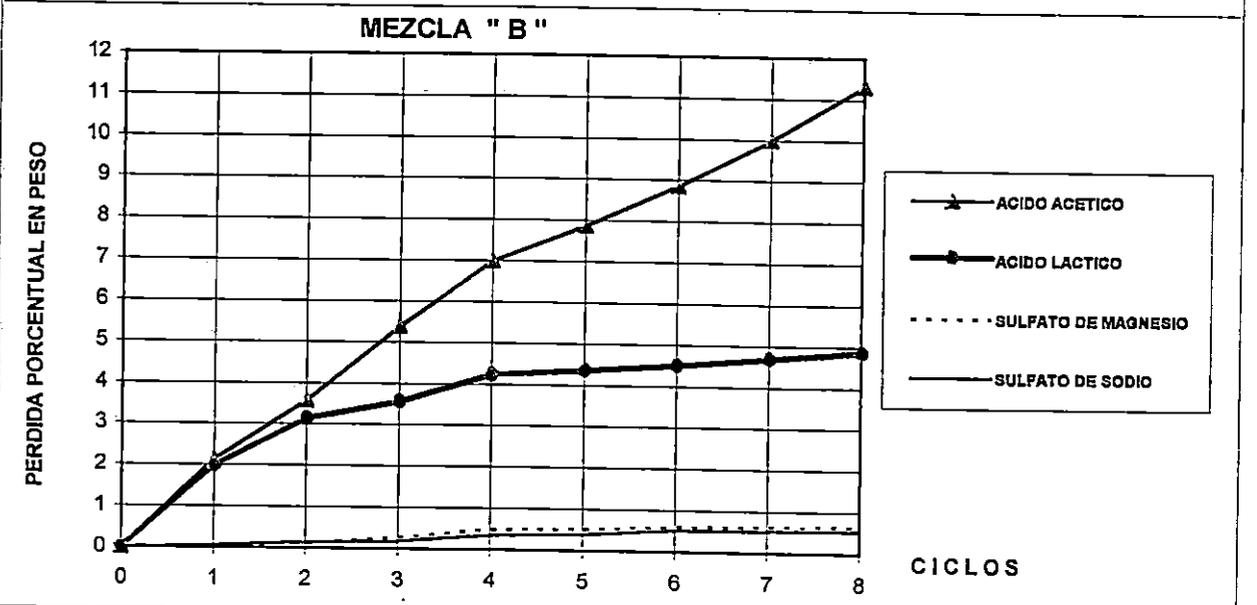
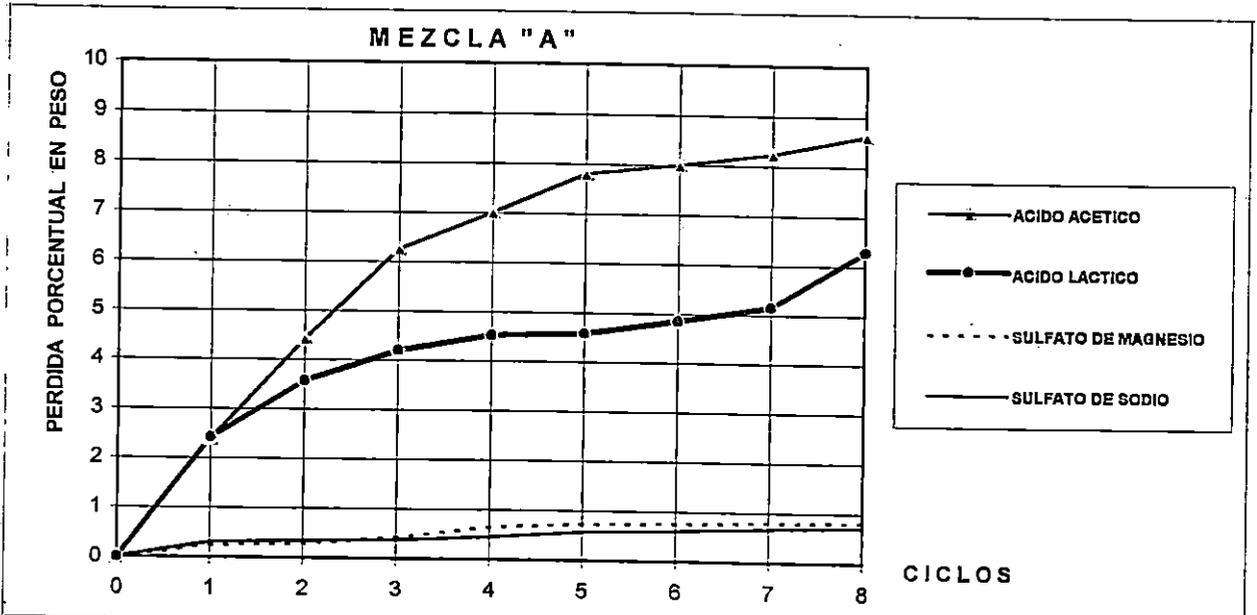
CUADRO No. 5.10 EVALUACION DE LA RESISTENCIA QUIMICA DEL CONCRETO

| SOLUCION | M E Z C L A S | | | | | |
|---------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | A | B | C | D | E | F |
| SULFATO DE MAGNESIO | MUY BUENA | MUY BUENA | MUY BUENA | MUY BUENA | MUY BUENA | MUY BUENA |
| SULFATO DE SODIO | MUY BUENA | MUY BUENA | MUY BUENA | MUY BUENA | MUY BUENA | MUY BUENA |
| ACIDO ACETICO | REGULAR | REGULAR | REGULAR | REGULAR | MALA | REGULAR |
| ACIDO LACTICO | REGULAR | REGULAR | REGULAR | REGULAR | REGULAR | REGULAR |

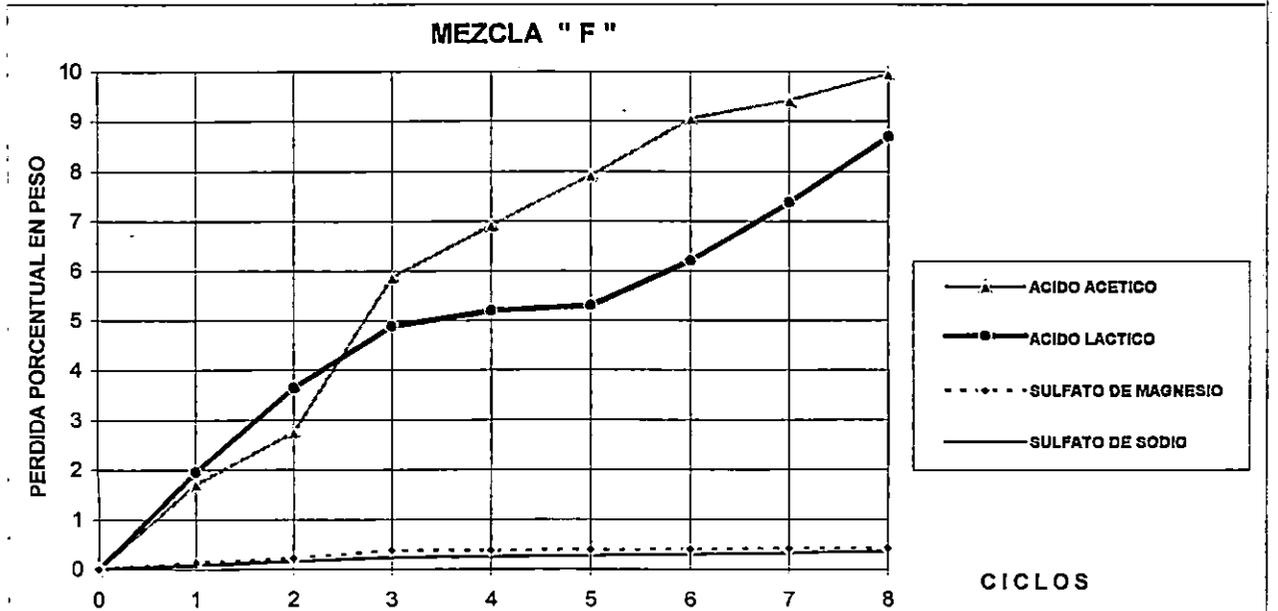
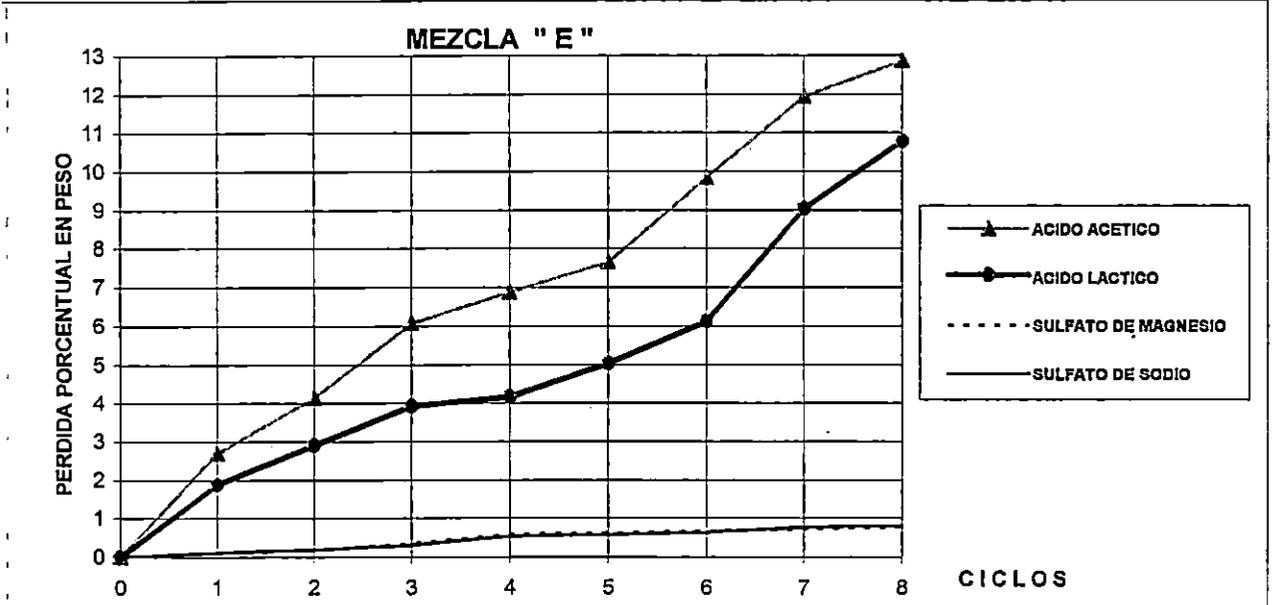
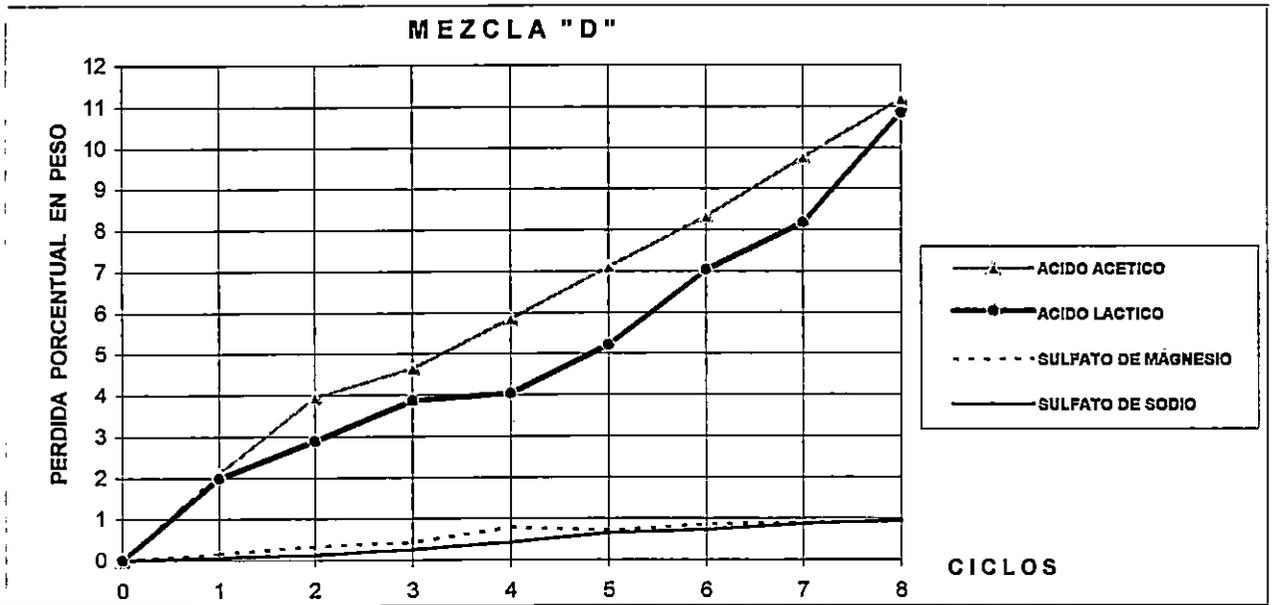
⁸⁹ Tabla propuesta por investigadores Japoneses para evaluar el comportamiento del concreto frente a los ataques quimicos.

- Investigación "Chemical Resistance of Concrete Containing Condensed Silika Fume", American Concrete Institute SP 114, Noruega 1989.

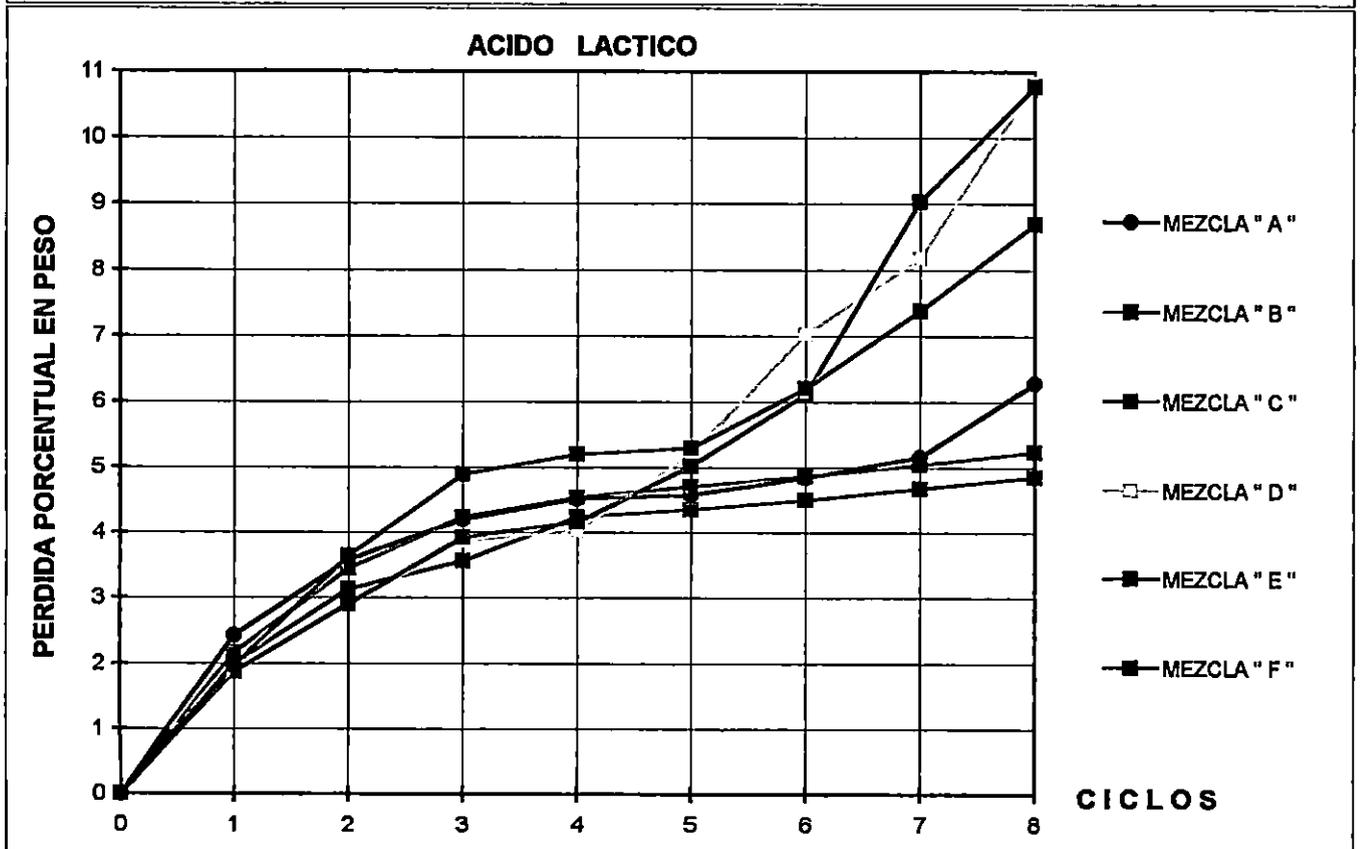
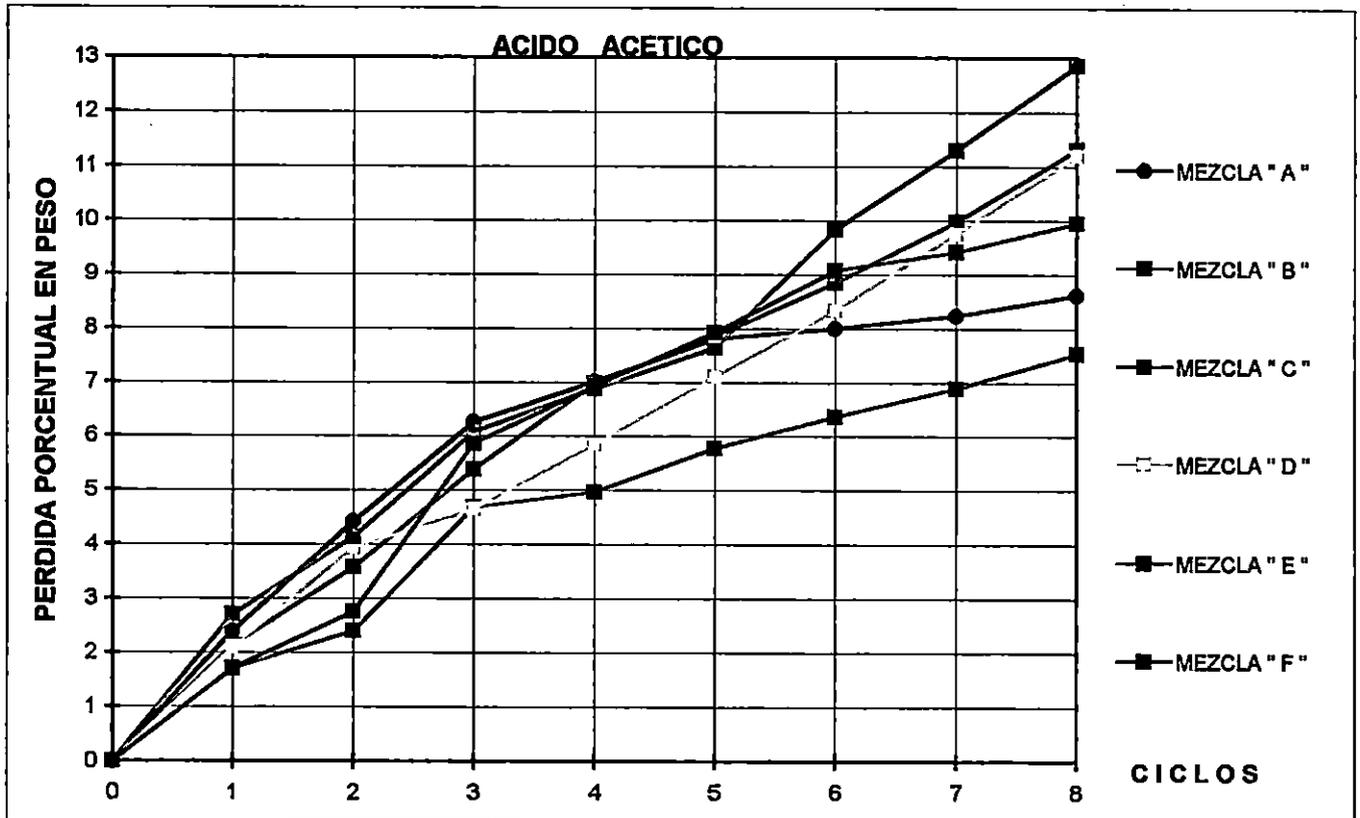
GRAFICA No. 5.5 PERDIDA PORCENTUAL EN PESO POR CICLOS



PERDIDA PORCENTUAL EN PESO POR CICLOS



COMPARACION DE PERDIDA PORCENTUAL DE PESOS POR CICLOS ENTRE LAS 6 MEZCLAS DE CONCRETO (A - B - C - D - E - F) DEBIDO AL ATAQUE QUIMICO DE ACIDOS.



QUIMICO DE ACIDOS
 LAS 8 MEZCLAS DE CONCRETO (A - B - C - D - E - F - G - H) SUFIDO AL ATACAR
 COMPARACION DE PERDIDA PORCENTUAL DE PEBON POR CILOS EN BRE
 TABLON 10

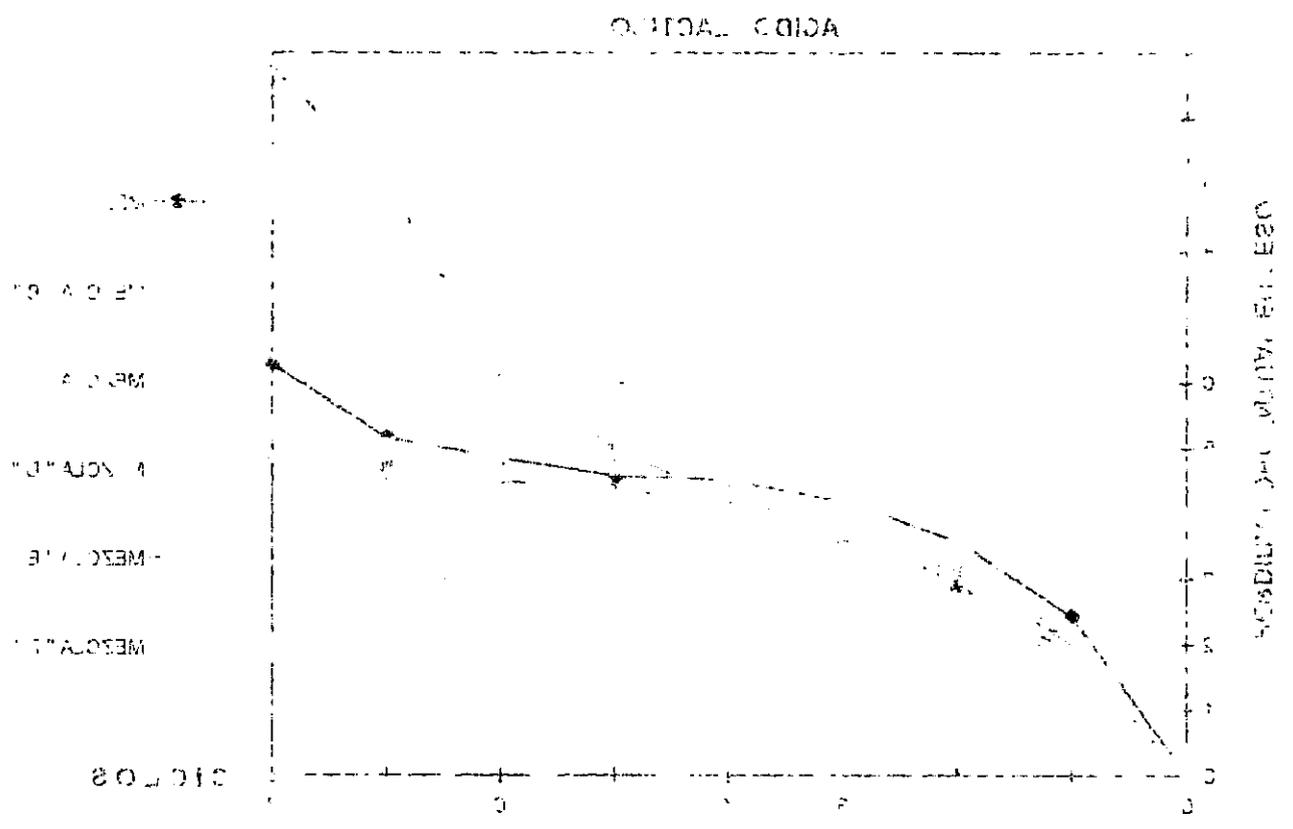
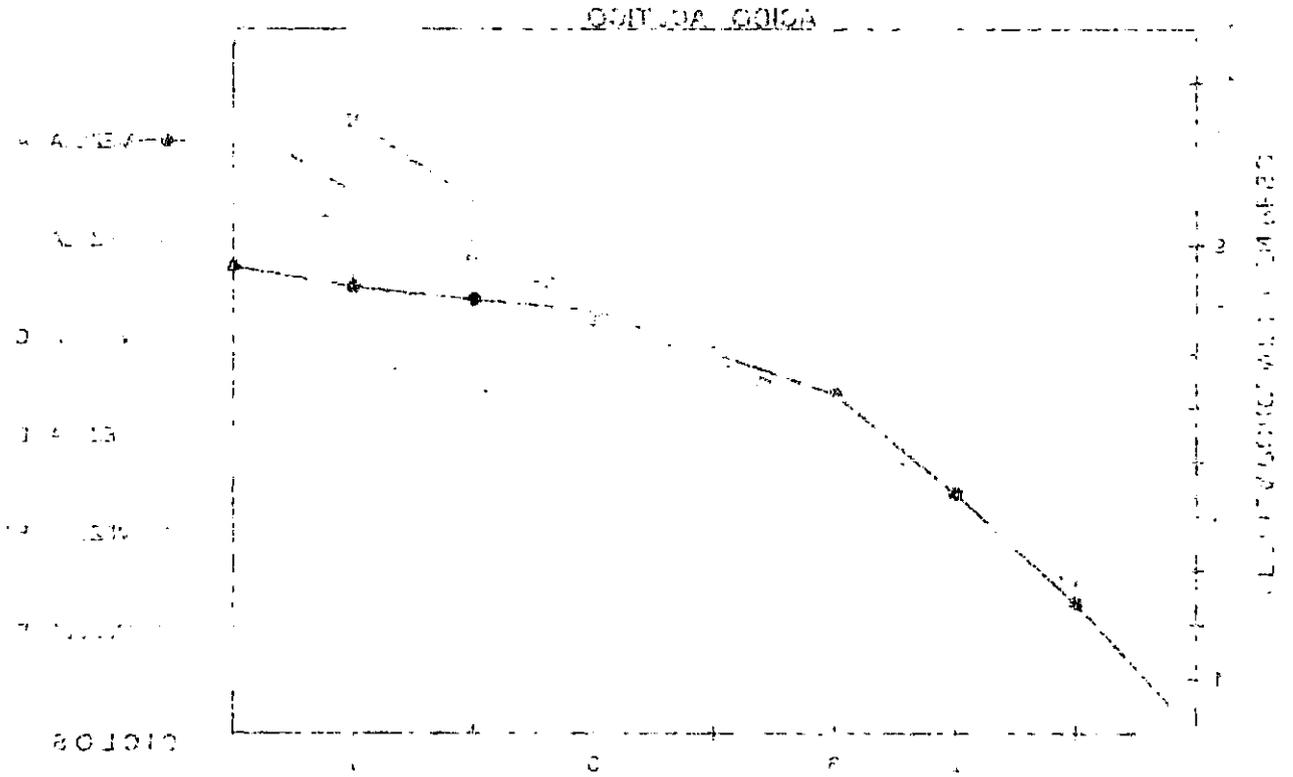
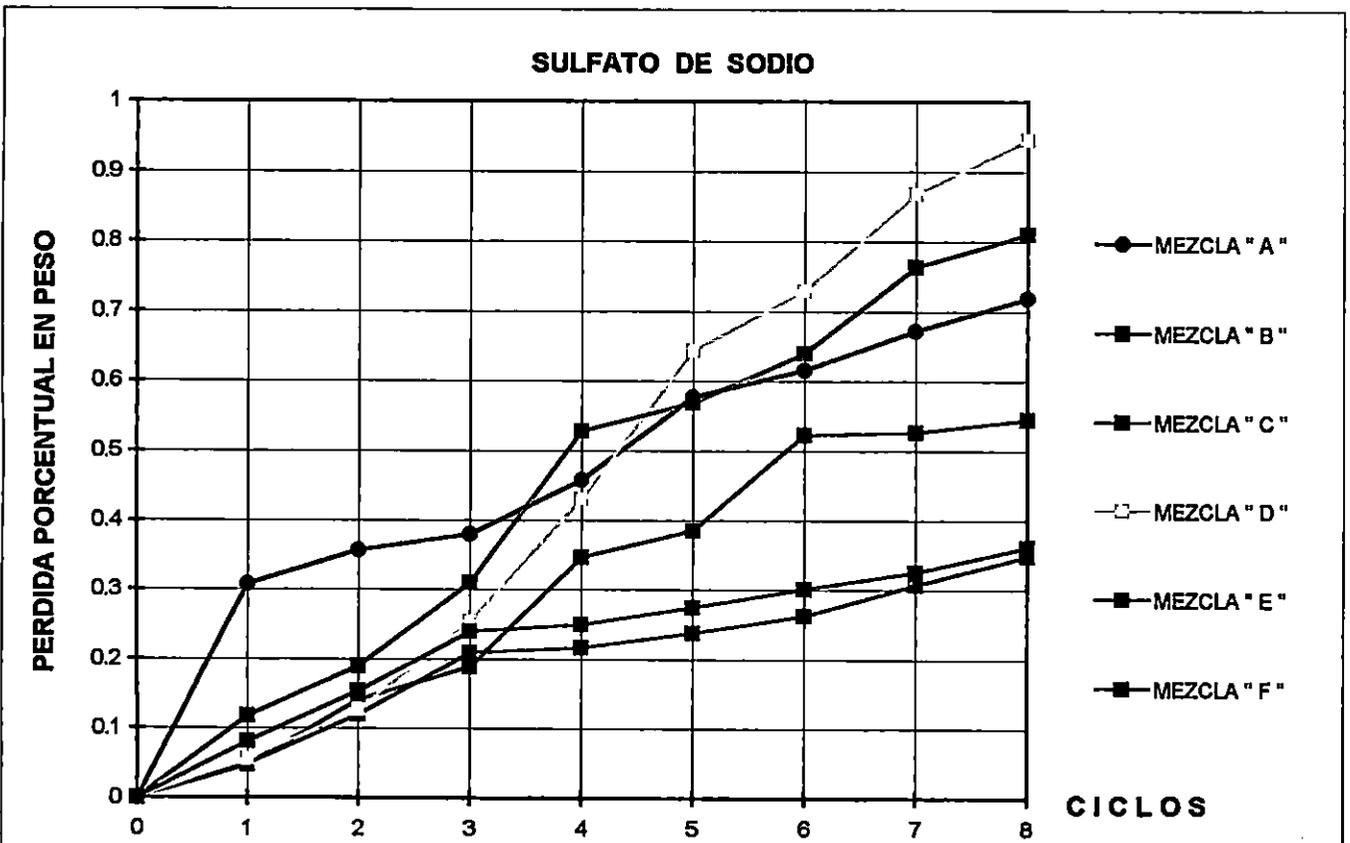
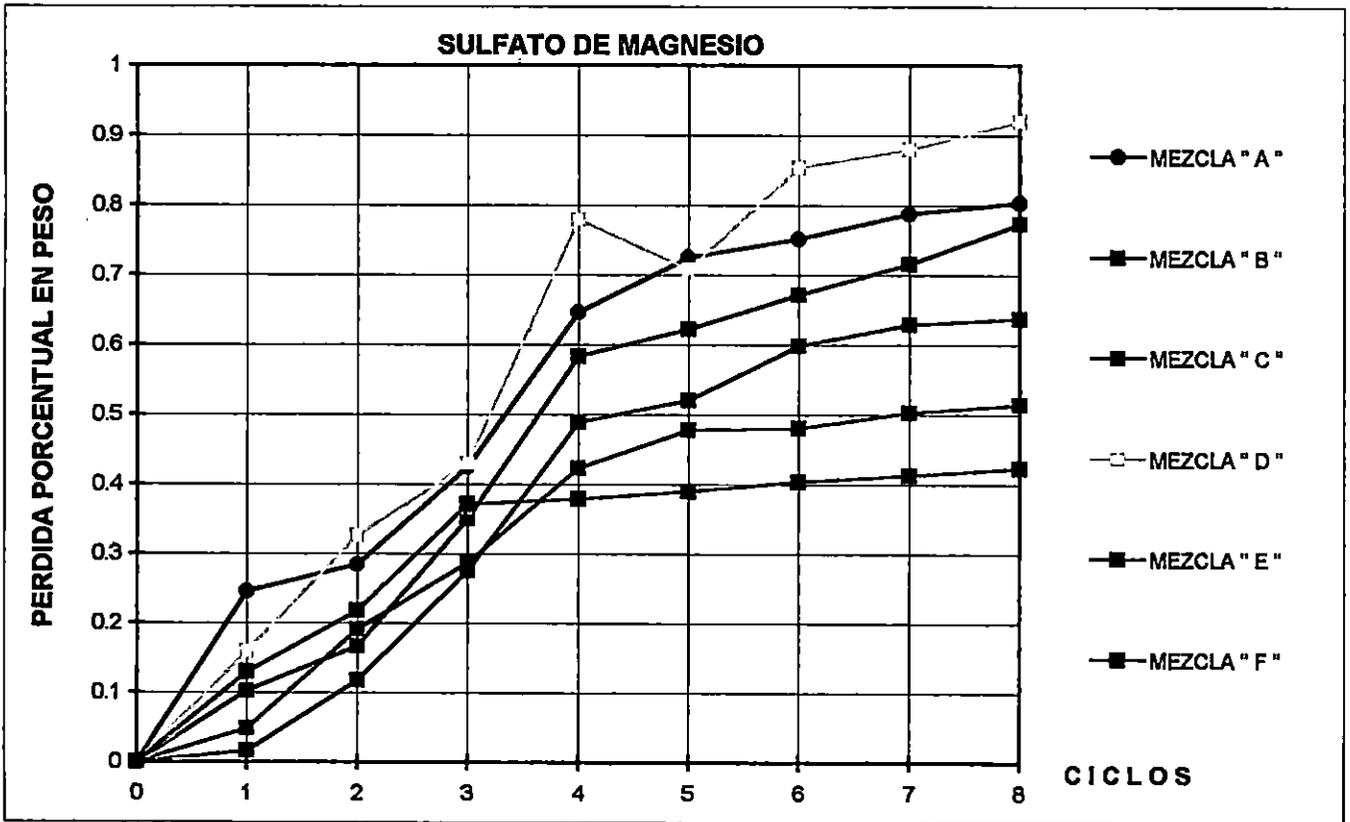


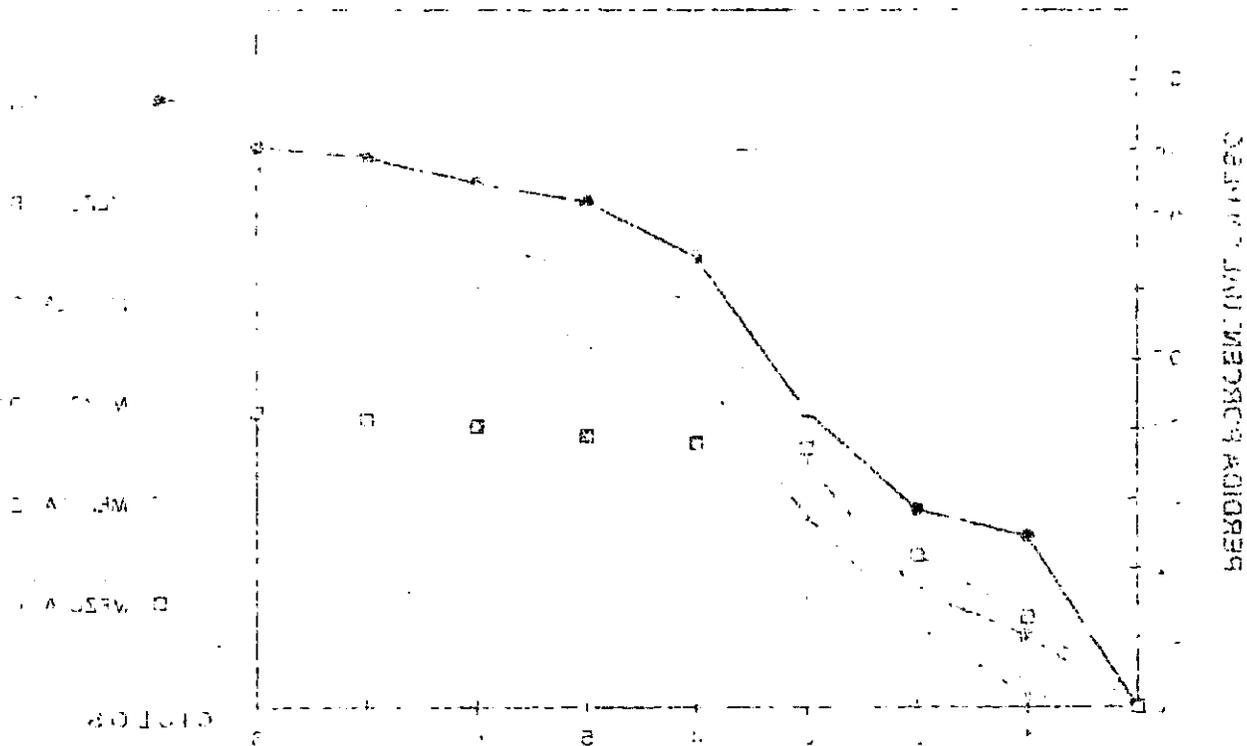
GRAFICO No. 5.8

COMPARACION DE PERDIDA PORCENTUAL DE PESOS POR CICLOS ENTRE LAS 6 MEZCLAS DE CONCRETO (A - B - C - D - E - F) DEBIDO AL ATAQUE QUIMICO DE SULFATOS.

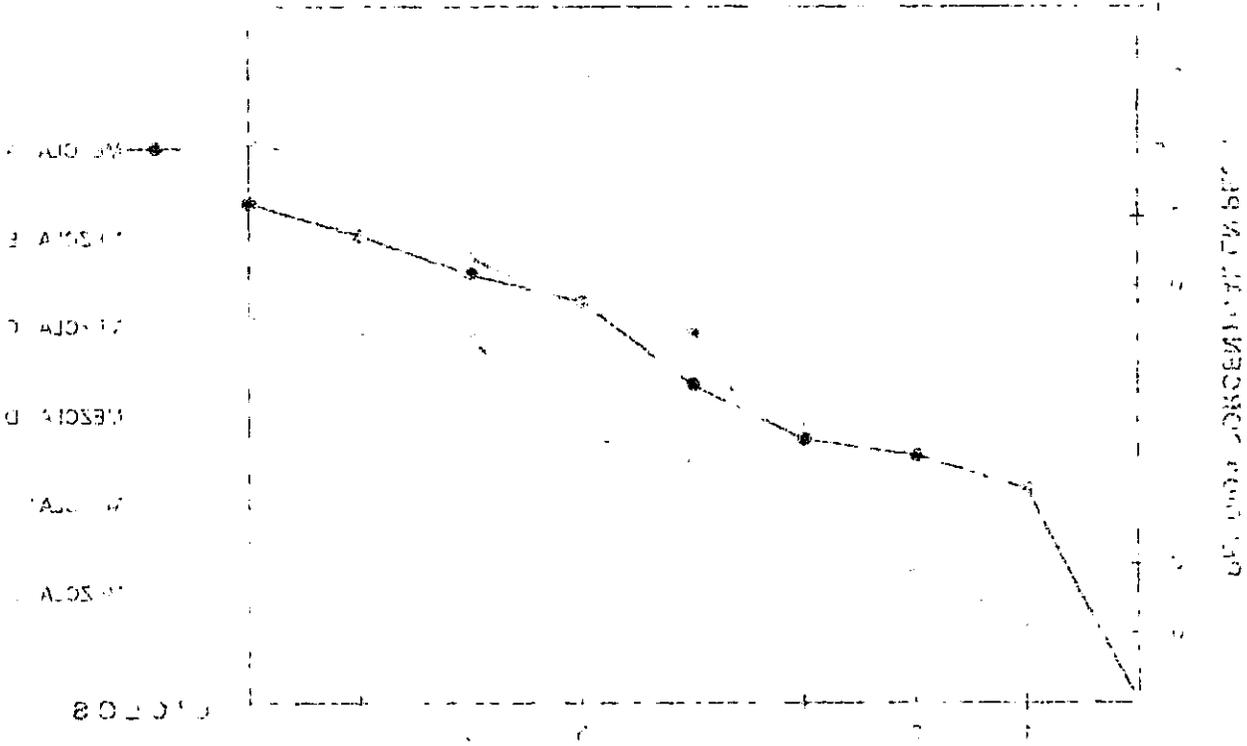


COMPARACION DE PERDIDA PORCENTUAL DE PESO POR CICLOS ENTRE LAS MEZCLAS DE CONCRETO (A - B - C - D - E - F) BEBIDA AL AGUE QUIMICO DE SULFATO.

SULFATO DE MAGNESIO



SULFATO DE SODIO



6. Los superplastificantes tipo "F" (Powermix 100) y tipo "G" (Slumpmix-C) de la marca Edecon son compatibles con el cemento portland tipo I (CESSA 5000), utilizados en las mezclas de Concreto.
7. El uso combinado de aditivos permitió lograr trabajabilidades excelentes en el Concreto de Gran Comportamiento, el aditivo tipo "F" Edecon Powermix 100 se usó como superplastificante y reductor de agua, mientras que el aditivo tipo "G" Edecon Slumpmix-C se usó como superplastificante, reductor de agua y regulador de fraguado. El contenido de aditivo Slumpmix-C para las mezclas "B" y "E" fue de 0.438% (2.41 Lts/mt³) y de 0.75% (4.12 Lts/mt³) de aditivo Powermix 100; en las mezclas "C" y "F" el contenido de Slumpmix-C varió de 0.625% a 0.688% (3.54 a 3.90 Lts/mt³) respectivamente y el aditivo Powermix 100 varió de 1.50% a 1.563% (8.50 a 8.86 Lts/mt³) respectivamente; estas cantidades de aditivos permitieron revenimientos de 21 a 25 cms, manteniéndose la trabajabilidad por más de 1½ horas, en condiciones ambientales donde la temperatura fluctuaba entre 25°C a 30°C.
8. Los aditivos Superplastificantes tipo "F" y "G" (Edecon Powermix 100 y Edecon Slumpmix-C) utilizados en las mezclas de concreto "B", "C", "E" y "F", actuaron en cierta medida como inclusores de aire, debido a que se observaron pequeñas burbujas de aire tanto en el concreto fresco como en el concreto endurecido.
9. Los resultados de las pruebas a compresión a 90 días muestran que los especímenes de concreto elaborados con agregado de 1/2" alcanzaron una resistencia mayor que los especímenes con agregado de 3/4", para el caso la mezcla de control "D" de 1/2" obtuvo un 5.07% más de resistencia que la mezcla de control "A" de 3/4", la mezcla "E" de 1/2"

alcanzó un 6.53% más que la mezcla "B" de 3/4" y la mezcla "F" de 1/2" logró un 1.89% más que la mezcla "C" de 3/4".

10. Los tipos de fractura obtenidas en el ensayo a compresión de los especímenes cilíndricos de concreto eran explosivas, columnares y cónicas y las fallas pasaban a través del agregado y no en la interfase.
11. Las mezclas que contienen microsilica "C y F" (ambas con 510 kg/mt³ de cemento y 56 kg/mt³ de microsilica) tienen un nivel de resistencia a compresión semejante con respecto a las mezclas "B y E" (ambas con 550 kg/mt³ de cemento), a pesar de que la microsilica se utilizó como sustitución del 10% de la cantidad de cemento y no como adición.
12. El peso volumétrico de las mezclas con microsilica "C y F" obtenido a los 56 días de edad resultó ser ligeramente menor con respecto a las demás mezclas (A, B, D y E) debido a la incorporación de microsilica como una sustitución del 10% del contenido de cemento.
13. Las resistencias a compresión obtenidas a edad temprana (7 días) son considerables para clasificar las mezclas de concreto elaboradas como de alta resistencia a temprana edad ($f_c \geq 410 \text{ Kg/cm}^2$), según el comité ACI 363.
14. Analizando los resultados de las pruebas a compresión obtenidos se puede advertir que es posible obtener concretos de alta resistencia sin usar microsilica y a un menor costo, pero debe tenerse en cuenta que la observación anterior no excluye el uso de la microsilica, por el contrario la elección de usar microsilica debe basarse en aspectos que

van más allá de la resistencia y el costo inicial, el uso de la microsilica resulta eficiente cuando se toma en cuenta la durabilidad de una estructura de concreto; el costo inicial de la obra más el costo de mantenimiento durante la vida útil de esta más el costo de la posibilidad de colapso de la estructura y que cause daños así como también el costo de demolición y remoción de la estructura.

15. Con esta investigación se demostró que en El Salvador la fabricación de Concreto de Gran Comportamiento no exige de componentes muy especiales. Es por lo tanto, una categoría de concretos que está al alcance de cualquier planta de concreto premezclado que disponga de materiales y de un control de producción conforme a los requisitos de calidad.
16. La resistencia a tensión indirecta obtenida a los 56 días, para todas las mezclas en el ensayo, fué similar a la tensión indirecta calculada con la ecuación que la correlaciona con la resistencia a la compresión propuesta por el ACI 363.
17. En las pruebas de resistencia del concreto al ataque de agentes químicos las mezclas que contenían microsilica resistieron de manera adecuada el ataque de los ácidos y los sulfatos, de forma general los especímenes más afectados por el ataque químico fueron los cilindros elaborados con agregado de 1/2" siendo el ácido acético el más agresivo. Según el criterio de evaluación de la resistencia química del concreto todas las mezclas resistieron de forma "muy buena" el ataque de los sulfatos; con respecto al ataque de los ácidos el comportamiento de las mezclas fue "Regular" a excepción de la mezcla "E" cuyo comportamiento ante la acción del ácido acético fue "Malo".

18. Se estima que debido al corto tiempo de exposición de los especímenes cilíndricos de concreto al ataque de agentes químicos como los sulfato de sodio y de magnesio, no se observó el fenómeno de expansión que estos producen, en todo caso los datos de pérdida porcentual de peso corresponden al desgaste ocasionado por el cepillo metálico usado para remover los cristales o sales de sulfatos formados en la superficie de los especímenes de concreto, aun así los especímenes menos afectados por el desgaste fueron los de las mezclas "C" y "F" que contenían microsilica.

RECOMENDACIONES

En base a la investigación y al trabajo experimental se dan las siguientes recomendaciones:

1. Elaborar mezclas de Concreto de Gran Comportamiento manteniendo la relación $A/(C+P)$ igual a 0.30, variando las cantidades de cemento con el objetivo de determinar la cantidad óptima de cemento que logre alcanzar altas resistencias mecánicas.
2. Para determinar la resistencia a compresión a edad temprana, se deben ensayar especímenes cilíndricos a 24 horas de edad.
3. Efectuar investigaciones con universos de prueba por edad no menores de 30 especímenes, para obtener un análisis estadístico confiable según se establece en los comités ACI 214 y ACI 704.
4. Realizar ensayos a compresión de especímenes cilíndricos de prueba a la edad de 120 días para determinar si todavía existe incremento de resistencia a edades posteriores de los 56 y 90 días que son las edades recomendables para tomar la resistencia a compresión final de los Concretos de Gran Comportamiento y además a esas edades también se puede evaluar la acción de la microfibras.
5. Siempre que los especímenes cilíndricos estándar (15 x 30 cm) de concreto de alta resistencia rebasen la capacidad de carga de las máquinas de compresión, es conveniente usar cilindros de 10 x 20 cm para medir la resistencia a la compresión de Concretos de Gran Comportamiento ya que requieren una carga menor y aunque las resistencias

obtenidas sean altas, estas pueden ser comparadas mediante factores de conversión que correlacionen las resistencias de estos cilindros con la resistencia a compresión de los cilindros estándar.

6. Elaborar mezclas de Concreto de Gran Comportamiento utilizando microsílca como adición con porcentajes mayores del 10% del contenido de cemento y determinar los porcentajes con los que se gana mayor resistencia a compresión, mayor durabilidad y determinar las variaciones del peso volumétrico con respecto a esos porcentajes a usar.
7. Incluir en las investigaciones de Concreto de Gran Comportamiento, el uso de microsílca como una adición y comparar resultados con el uso de ésta como sustitución.
8. Elaborar Concretos de Gran Comportamiento utilizando agregados ligeros y estudiar las mismas propiedades en estado fresco y en estado endurecido consideradas en esta investigación.
9. Elaborar Concretos de Gran Comportamiento con gravas más pequeñas que las utilizadas en este estudio por ejemplo gravas con tamaño máximo de 9.5 mm (3/8") y mantener los demás materiales constantes para determinar el nivel de resistencia a compresión que se puede alcanzar a diferentes edades. Además comparar los resultados que se obtengan de las mezclas de concreto con agregado de 3/8" con concretos elaborados con agregado máximo de 3/4" y 1/2".
10. Realizar investigaciones usando cemento portland tipo I (CESSA 5000) con los aditivos y adiciones usados en las investigaciones anteriores (Estudio de Concreto con

Alta Resistencia a la Agresión Provocada por la Contaminación del Medio Ambiente, partes I y II).

11. Determinar el contenido de aire, peso volumétrico y los tiempos de fraguado inicial y final de mezclas de Concreto de Gran Comportamiento en estado fresco.
12. En las pruebas de resistencia del concreto al ataque de agentes químicos como los sulfatos es recomendable que los ciclos de inmersión y secado sean de al menos unos 15 días de duración y durante un periodo de unos 6 meses o más para poder apreciar el mecanismo de ataque de los sulfatos en el concreto.
13. Los ácidos usados en la prueba de resistencia del concreto al ataque de agentes químicos deben ser cambiados periódicamente según la duración de los ciclos de prueba debido a que la reacción continua con el concreto disocia completamente el ácido, volviendo la solución menos agresiva.
14. Para investigar la resistencia del concreto al ataque de agentes químicos sería conveniente usar soluciones conteniendo sulfato de calcio y ácidos inorgánicos como el sulfúrico, clorhídrico, nítrico, fosfórico y carbónico.
15. Para mayor entendimiento y para promover el uso del Concreto de Gran Comportamiento bajo diferentes condiciones de exposición, sería conveniente estudiar el comportamiento de estos bajo temperaturas elevadas mediante pruebas de calor.

16. Investigar las técnicas de diseño estructural considerando el uso de Concretos de Gran Comportamiento en estructuras como edificios, puentes, presas, bóvedas y carreteras para poder difundir su uso.
17. Investigar todas las propiedades mecánicas de los Concretos de Gran Comportamiento mediante un programa experimental que comprenda el estudio de la resistencia a la compresión, resistencia a la tensión, resistencia a la flexión, módulo de elasticidad, relación de Poisson y la fragilidad.
18. Estudiar los medios para reducir la fragilidad de los Concretos de Gran Comportamiento a fin de proporcionarles mayor ductilidad, mediante el uso de fibras de acero o fibras de polipropileno en las mezclas de concreto que sean diseñadas y comparar estos resultados con mezclas de control, estudiando las propiedades del concreto en estado fresco y en estado endurecido.

BIBLIOGRAFIA

- Aditivos Superplastificantes para Concreto, Instituto del Cemento y el Concreto. A.C, Editorial Limusa, primera Edición, México, 1990.
- Aditivos para Concreto, ACI 212 Instituto del Cemento y el Concreto A.C, Editorial Limusa, Primera Edición México, 1990.
- ACI Materials Journal, " Influence of Steel Fibers on Strain Softening of High Strength Concrete", Luc R. Taerwe vol. 88,1992.
- ACI Materials Journal, "Fatigue of High Strength Reinforced Concrete", A.Mor, B.C Gerwick and W.T. Hester, Vol. 89, 1992.
- ACI Materials Journal, "Early Age Compressive Stress-Strain Properties of low-Medium and High Strength Concrete", Arschad A. Khan, Willan D. Cook and Denis Mitchel, Vol. 92, 1995.
- ACI Structural Journal, "Full Range Behavior of High Strength Concrete Flexural Members", R. Pendyala, P. Mendis vol. 93, 1996.
- Annual Book of ASTM Standards, vol 04.01 y vol 04.02, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1995.
- Control de Calidad del Concreto, ACI 704, IMCYC, Editorial Limusa, Octava edición, México 1988.
- Cemento: Fabricación, Propiedades, Aplicaciones, Dr. Phil Fritz Keil, Editores Técnicos Asociados, España 1973.

- Construcción de Estructuras de Concreto Presforzado, Ben C. Gerwick Jr, Editorial Limusa, primera reimpresión, México, 1986.
- Concreto Reforzado: Un Enfoque Básico, Edward G. Nawy, Editorial Prentice Hall, primera edición, México, 1988.
- Chemical Admixtures for Concrete, ACI 212.3, ACI Manual of Concrete Practice Part 1 1995.
- Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Steven H. Kosmatka y William C. Panarese, Instituto Mexicano del cemento y del Concreto, 1994.
- Diseño de Pisos Industriales de Concreto, Ing. Cipriano Alberto Londoño, ICPC, Reunión del Concreto, Colombia 1994.
- Development of High Performance Concrete, Kazumasa Ozawa, Koichi Maekawa and Hajime Okamura, Journal of the Faculty of Engineering, the University of Tokyo vol. XLI No.3, Japan, 1992.
- Durabilidad del Concreto, ACI 201, IMCYC, Cuarta reimpresión, México, 1988.
- Durabilidad del concreto, Asociación Venezolana de Productores de Cemento, Caracas, Venezuela, 1974.
- El Estado en U.S.A del Concreto de Gran Comportamiento, Jaime Moreno, Reunión del concreto 94 IMCYC, México, 1994.

- Estudio del Concreto con Alta Resistencia a la Agresión Provocada por la Contaminación del Medio Ambiente, 1º parte, José Alfredo Aguilar Coto y Oscar Mauricio Armando Reinoza, Tesis de Graduación, Universidad de El Salvador, Julio 1994.
- Estudio del Concreto con Alta Resistencia a la Agresión Provocada por la Contaminación del Medio Ambiente 2º parte, Santos Fernando Alberto, Miguel Balmore Rodriguez, Oscar Orlando Santamaria, Tesis de Graduación, Universidad de El Salvador, Agosto 1995.
- Efecto del Porcentaje de Aire y Temperatura en la Resistencia del Concreto, Edgar Alfredo Gavidia P. Y Crisanto Javier Portillo B. Tesis de Graduación Universidad de El Salvador, Abril 1997.
- Guide for the Use of High-Range Water-Reducing Admitures in Concrete, ACI 212.4, ACI Manual of Concrete, Practice Part 1, 1995.
- Guide for Selecting Proportions for High Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash (ACI 211.4), ACI Manual of Concrete, Practice Part 1, 1995.
- High Strength Concrete, Aurero W. García y William Ramos, Readdy Mix Concrete Inc. Puerto Rico, 1964.
- High Strength Concrete, Skokie Ill, Concrete Información, PCA, 1970.
- Manual de Tecnología del Concreto, Tomo I y II, Instituto de Ingeniería UNAM y CFI, editorial Limusa y Noriega Editores, México, 1994.
- Memoria Técnicas de la reunión del Concreto, ASOCRETO, Colombia (3º Reunión), Tomo 4, 1992.

- Práctica Recomendable para la Evaluación de los Resultados de las Pruebas de Resistencia del Concreto, ACI 214, IMCYC, Quinta edición, México 1982.
- Reglamento de las Construcciones de Concreto Reforzado, ACI 318-89, IMCYC, México 1991.
- Revista Cemento-Hormigon No.709, "Aridos para hormigones de Alta Resistencia. Sus características", Eduardo Herrero. "Bases de Cálculo para el Proyecto de Estructuras de Hormigon de Alta Resistencia", Antonio Aguado, España 1992.
- Revista Cemento-Hormigón No. 722, "El Hormigón de Alta Resistencia. Las Características que Condicionan Cálculo Estructural", Enrique Gonzales Valle, España, 1993.
- Revista Cemento-Hormigón No. 749, "Consideraciones sobre el uso de Superfluidificantes en HAP para la Industria del Hormigón", Fotio Buchas y Juan Buchas, 1995.
- Revista Concrete Construcción "High Performance Concrete Production Creates New Challenge". Guy Detwiler, 1992.
- State of the Art Report on High Strength Concrete, ACI 363, ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, 1995.
- Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete, ACI 211.1, ACI Manual of Concrete Practice Part 1 1995.
- Tecnología del Concreto Tomo I Neville A.M. IMCYC, Editorial Limusa México, 1988.

ANEXOS



Edecon SlumpMix-C

Superplastificante — Reductor De Agua De Alto Alcance

USO BASICO:

SlumpMix-C es un fluidificante concentrado retardor de frague para hormigón y reductor de agua de alto alcance. El hormigón con **SlumpMix-C** puede proveer al usuario con más de dos horas para la colocación, contrario a un fluidificante de fraguado normal. Está diseñado para proveer a una mezcla dada, la máxima trabajabilidad y el tiempo para su colocación, así como la máxima resistencia.

SlumpMix-C le permite a los productores de hormigón pre-mezclado a entregar el hormigón con un asentamiento alto, con duración controlada para su colocación, al mismo tiempo obteniendo altas resistencias. Aplicaciones para este tipo de aditivo son para entregas distantes de la planta hasta cuatro horas dependiendo de la dosificación, en estructuras con grandes cantidades de acero y para bombear hormigón intermitente o a largas distancias.

SlumpMix-C reduce la cantidad de agua de mezclado en el hormigón de 12%-20%, manteniendo su trabajabilidad.

SlumpMix-C provee una mezcla que es más sensible a la vibración, de manera que produce una superficie con menos vanos y mejor apariencia que el hormigón normal. Esta cualidad ayuda cuando se usa en hormigón arquitectónico.

INFORMACION TECNICA

SlumpMix-C reacciona con el cemento de una manera positiva para mejorar la calidad del hormigón, haciendo el cemento más eficiente. **SlumpMix-C** disminuye el grado relativo de generación de calor de hidratación inicial del hormigón. Esta cualidad produce el control de la temperatura del hormigón en su estado plástico, aun en temperaturas sobre 80° F. **SlumpMix-C** aumenta la densidad del hormigón. Esta cualidad produce un hormigón menos permeable y con más resistencia a la flección.

SlumpMix-C no contiene cloruros u otros iones de cloruro.

APLICACION:

SlumpMix-C se debe introducir a la mezcla con el agua en la planta. **SlumpMix-C** es un aditivo que se puede usar en diferentes dosificaciones dependiendo del resultado deseado.

SlumpMix-C no debe ser usado con otros aditivos que produzcan retardación.

SlumpMix-C se dosifica a razón de 6 a 10 onzas fluidas por cada 100 libras de cemento. Se deben hacer pruebas de campo para determinar la mejor dosificación.

SlumpMix cumple la norma ASTM C-494 Tipo G.

GARANTIA: Este producto es garantizado ser de calidad uniforme dentro de las tolerancias del fabricante. Debido a que no se ejerce control sobre su uso, no se ofrece garantía ni expresada ni implícita, sobre los efectos del uso que se le da. La obligación del vendedor y el fabricante bajo esta garantía se limita a reemplazar aquella porción del producto de este fabricante que se pruebe que este defectuoso.

CONCRETE CONTROLS, INC.

Concrete Controls, Inc.
200 Industrial Ave.
New Orleans, La. U.S.A. 70121
Tel: Area Code: (504) 831-2961
FAX: (504) 838-8969



EDECON POWERmix 100

Reductor de Agua de Alto Alcance
(Superplastificante)

USO BASICO:

EDECON POWERmix 100 es usado para producir hormigon con resistencias muy altas a edad temprana.

DESCRIPCION:

EDECON POWERmix 100 ha sido formulado para producir hormigon con la mas alta resistencia temprana y ultima. Se puede obtener resistencias altas a 8 y 24 horas. Estas altas resistencias pueden reducir o eliminar el curado por calor o vapor - ideal para operaciones de prefabricado o pretensado. El uso temprano de pisos y reparaciones de secciones de carreteras es posible. Aditivos suplementarios como retardadores, acelerantes, reductores de agua o impermeabilizantes se pueden usar con EDECON POWERmix 100 cuando sea necesario.

VENTAJAS:

1. Reduccion de agua de hasta 30%.
2. Reduce o elimina el curado por calor en operaciones de prefabricado o pretensado.

MANTENIMIENTO DE REVENIMIENTO:

Cuando el colocado de hormigon se demora y el revenimiento se comienza a perder, anada EDECON POWERmix 100 directamente al camion/mezcladora a razon de una a dos onzas fluidas por 100 libras de cemento (33 - 66 ml / 50 kg) para mantener el revenimiento.

GARANTIA: Este producto es garantizado ser de calidad uniforme dentro de las tolerancias del fabricante. Debido a que no se ejerce control sobre su uso, no se ofrece garantia ni expresada ni implicada, sobre los efectos del uso que se le da. La obligaci3n del vendedor y el fabricante bajo esta garantia se limita a reemplazar aquella porci3n del producto de este fabricante que se pruebe que este defectuoso.

CONCRETE CONTROLS, INC.

Concrete Controls, Inc.
200 Industrial Ave.
New Orleans, La. U.S.A. 70121
Tel: Area Code: (504) 831-2961
FAX: (504) 838-8969

INFORMACION TECNICA:

EDECON POWERmix 100 cumple la norma ASTM C494, Tipo F.

EDECON POWERmix 100 se recomienda para la mas alta resistencia temprana y ultima. La reduccion de agua y resistencia a cualquier edad es directamente proporcional con la dosificacion. La figura 1 ilustra el uso de EDECON POWERmix 100 para reducir la relacion agua-cemento y para aumentar el revenimiento. La figura 2 ilustra el efecto de la dosificacion en la resistencia a la compresion.

APLICACION:

Reductor de Agua: Cuando se usa como reductor de agua, EDECON POWERmix 100 se debe introducir a la mezcla con el agua al momento de cargarla. Use de 8 a 30 onzas fluidas por 100 libras de cemento.

Hormigon Fluido: Cuando se requiere un hormigon fluido de 6 a 10 pulgadas (15 a 25 cm) de revenimiento, el EDECON POWERmix 100 se debe anadir al camion/mexcladora en la obra y luego mezclar por tres minutos antes de descargar. Use de 8 a 16 onzas fluidas por 100 libras de cemento.

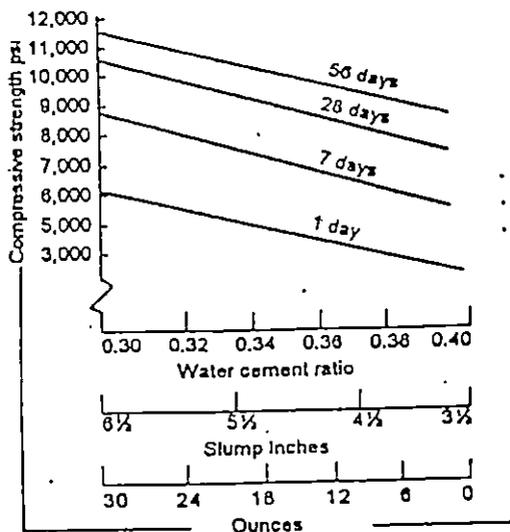


FIGURA 1: Efecto de EDECON POWERmix 100 en resistencia, relacion agua/cemento y revenimiento.

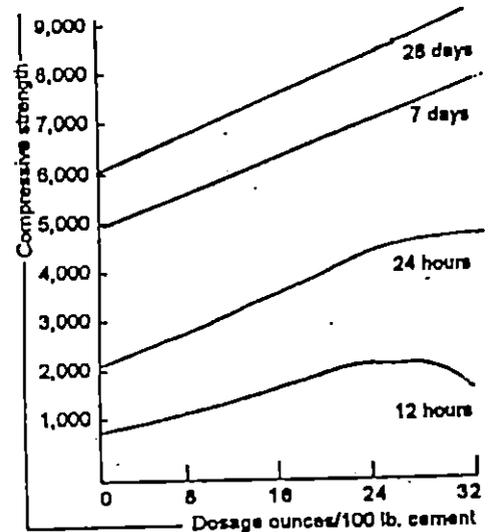


FIGURA 2: Efecto de la dosificacion de EDECON POWERmix 100 en la resistencia a la compresion. Revenimiento: 3.5 pulgadas.



EDECON MegaMix P

Aditivo Microsilica Para Hormigón

DESCRIPCION :

EDICON MegaMix P es un aditivo en polvo seco de microsilica para hormigón y mortero. Se usa en estructuras que requieren resistencias altas, donde hay exposición al salitre o se requiere protección contra la corrosión del acero, erosión, o se requiere resistencia a la abrasión. Ejemplos de esto son: preesforzados, prefabricados y hormigón pre-mezclado en losas de puentes, estructuras de estacionamiento y para concreto lanzado.

VENTAJAS:

- Provee altas resistencias a la compresión y flección.
- Reduce la permeabilidad.
- Provee protección contra la corrosión del acero por iones de cloruros.
- Aumenta dramáticamente la resistencia a la abrasión.
- Reduce la erosión.
- Mejora la durabilidad.

DOSIFICACION Y MEZCLADO

EDECON MegaMix P se dosifica a razón de 5% a 20% por peso del cemento. No se debé reemplazar al cemento con MegaMix P.

Como dispersante se debe usar un superplastificante tal como, EDECON POWERmix 50 o 100. Para mejores resultados, MegaMix P se debe dosificar antes que los otros ingredientes en la mezcladora (un minuto antes preferible) luego 50% del superplastificante, inmediatamente 80% a 100% del agua de la mezcla, luego el resto de los ingredientes y luego se añade el 50% restante del superplastificante. Se debe mezclar por un mínimo de 5 minutos.

EMPAQUE

EDECON MegaMix P es un polvo envasado en bolsas de 50 lbs.

INFORMACION TECNICA

- Densidad: 32 lbs. por pie cúbico aproximadamente.
- Gravedad Especifica: 2.2.
- Color: Polvo gris.
- Durabilidad: Ilimitada (Protegido de la humedad).
- Almacenamiento: Se debe almacenar en un lugar seco sobre 35° F.
- EDECON MegaMixP cumple la norma ASTM (C-1240).

LIMITACIONES

- No se debe premezclar con un aditivo incorporador de aire.
- Se debe proteger de congelarse.
- Se debe usar un superplastificante para dispersar la microsilica.

GARANTIA: Este producto es garantizado ser de calidad uniforme dentro de las tolerancias del fabricante. Debido a que no se ejerce control sobre su uso, no se ofrece garantía ni expresada ni implícada, sobre los efectos del uso que se le dé. La obligación del vendedor y el fabricante bajo esta garantía se limita a reemplazar aquella porción del producto de este fabricante que se pruebe que este defectuoso.

CONCRETE CONTROLS, INC.

Concrete Controls, Inc.
200 Industrial Ave.
New Orleans, La. U.S.A. 70121
Tel: Area Code: (504) 831-2961
FAX: (504) 838-8969