



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN DE CONCRETOS DE BAJA
RESISTENCIA EN VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL**

T E S I S

PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL – CONSTRUCCIÓN

P R E S E N T A :

ING. JOSÉ GUADALUPE MUÑIZ RODRIGUEZ

TUTOR:

M.I. CARLOS JAVIER MENDOZA ESCOBEDO

2006



JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Roberto Meli Piralla

Secretario: Dr. Jesús Hugo Meza Puesto

Vocal: M.I. Carlos Javier Mendoza Escobedo

1er. Suplente: Ing. Juan Luís Cottier Caviedes

2do. Suplente: Ing. Carlos Suárez Salazar

Lugar donde se realizó la tesis:

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

TUTOR DE TESIS:

M.I. CARLOS JAVIER MENDOZA ESCOBEDO

FIRMA

A G R A D E C I M I E N T O S

A MI FAMILIA

MIS PADRES ASCENCIÓN Y AZARIAS, A MI TIA LAURA Y HERMANOS ELEAZAR, MIGUEL ANGEL Y EVA MARGARITA, QUIENES HAN SIDO MI MOTOR QUE GENERA EL AVANCE DIA A DIA DE ESTE LARGO CAMINO DE LA PREPARACIÓN PROFESIONAL, QUE DE MANERA DESINTERESADA MUESTRAN EL AMOR FAMILIAR, QUE DA ALIENTO EN LAS DERROTAS Y VICTORIAS DE LA VIDA.

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM)

POR LO TODA LA PREPARACIÓN ACADÉMICA EN ESTA SEGUNDA ETAPA EN LA CARRERA DE ESTUDIANTE UNIVERSITARIO.

A MI TUTOR M.I. CARLOS JAVIER MENDOZA ESCOBEDO

AGRADEZCO LA CONFIANZA QUE ME OTORGO SIN CONOCERME, TAMBIÉN EL COMPARTIR SU EXTENSO CONOCIMIENTO Y LA OPORTUNIDAD DE PARTICIPAR EN PROYECTOS ACADÉMICOS.

A CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT)

POR OTORGARME LA BECA PARA MI MANUTENCIÓN Y ESTUDIO EN ESTOS 2 AÑOS PARA ESTA ARDUA PREPARACIÓN DE MAESTRÍA.

A CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (CENAPRED)

POR LAS FACILIDADES REQUERIDAS EN MIS ENSAYES EXPERIMENTALES QUE A TRAVÉS DEL M. I. MIGUEL A. PACHECO MARTÍNEZ EXTERNO ACCESIBILIDAD.

A GRUPO SADASI S.A. DE C.V.

POR BRINDARME APOYO EN SUS INSTALACIONES DE LA PLANTA DE CONCRETO QUE A TRAVÉS DEL ING. JOSÉ MANUEL PÁEZ EXTERNÓ FACILIDADES PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE TESIS.

A TODOS GRACIAS

No basta saber, se debe también aplicar. No es suficiente querer, se debe también hacer.
Johann Wolfgang von Goethe

ÍNDICE

DEDICATORIA

PENSAMIENTO

	PÁGINA
INTRODUCCIÓN	v
ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN QUE NECESITARÁ VIVIENDA.....	vi
OBJETIVOS.....	viii
■ OBJETIVO GENERAL	
■ OBJETIVOS PARTICULARES	
JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	viii
HIPOTESIS.....	ix
ALCANCES.....	ix
RESUMEN.....	x

CAPITULO 1. ANTECEDENTES DEL CONCRETO ESTRUCTURAL

INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 COMPONENTES DEL CONCRETO	2
1.1.1. CEMENTANTES.....	2
1.1.2. AGREGADOS PÉTREOS.....	6
1.1.2.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	9
1.1.2.2. MÓDULO DE FINURA.....	10
1.1.2.3. CONTENIDO DE HUMEDAD.....	11
1.1.3. AGUA.....	12
1.1.3.1. CARBONATO ALCALINO Y BICARBONATO.....	13
1.1.3.2. CLORUROS.....	13
1.1.4. ADITIVOS.....	14
1.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....	15
1.2.1 HOMOGENEIDAD Y UNIFORMIDAD.....	16
1.2.2 CONSISTENCIA.....	17
1.2.3 ESTABILIDAD Y COMPACIDAD.....	20
1.3 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....	21
1.3.1 RESISTENCIA DE LOS AGREGADOS Y PASTA DE CEMENTO.....	22

1.3.2	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (f'_c).....	23
1.3.3	RESISTENCIA A TENSIÓN (f'_T).....	26
1.3.4	ESFUERZO DE FLEXIÓN DEL CONCRETO (M_R).....	27
1.3.5	MÓDULO DE ELASTICIDAD (E_c) Y RELACIÓN DE POISSON (μ).....	29
1.3.5.1	FACTORES QUE AFECTAN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	31
1.3.6	CAMBIOS VOLUMÉTRICOS.....	32
1.3.6.1	CONTRACCIÓN POR SECADO (ϵ_u).....	32
1.3.6.2	DEFORMACIÓN DIFERIDA (C_u).....	34
1.3.6.2.1	FACTORES QUE INFLUYEN LA DEFORMACIÓN DIFERIDA.....	36
1.3.7	RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA PERMEABILIDAD DE LOS CLORUROS.....	37
1.3.7.1	FACTORES QUE AFECTAN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO.....	37
1.3.7.2	CLORUROS SOLUBLES EN AGUA Y EN ÁCIDO.....	39
	CONCLUSIONES.....	40

CAPITULO 2. PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO

	INTRODUCCIÓN.....	41
2.1	CONSIDERACIONES GENERALES.....	41
2.1.1	SELECCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA.....	42
2.2	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE ACUERDO CON ACI 211.1.....	42
2.2.1	DISEÑO POR ACI 211.1.....	44
2.2.2	ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS.....	48
2.2.3	METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTANTE	49
	CONCLUSIONES.....	50

CAPITULO 3. CARACTERÍSTICAS ACTUALES DEL CONCRETO EMPLEADO EN VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL

	INTRODUCCIÓN.....	51
3.1	COMPONENTES PRINCIPALES DEL CONCRETO	51
3.1.1	CEMENTANTES.....	52
3.1.1.1.	ESPECIFICACIONES FÍSICAS DEL CEMENTO PORTLAND COMPUESTO CPC 40.....	53
3.1.2	AGREGADOS PÉTREOS.....	53
3.1.2.1.	AGREGADO FINO.....	54
3.1.2.2.	AGREGADO GRUESO.....	55
		56

3.1.3	AGUA.....	57
3.1.4	ADITIVOS.....	59
3.2	PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....	59
3.2.1	HOMOGENEIDAD Y UNIFORMIDAD.....	59
3.2.2	CONSISTENCIA.....	59
3.2.3	ESTABILIDAD Y COMPACIDAD	60
3.3	PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....	60
3.3.1	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (f'_c).....	61
3.3.2	RESISTENCIA A TENSIÓN INDIRECTA (f'_T).....	63
3.3.3	ESFUERZO DE FLEXIÓN DEL CONCRETO (M_R).....	63
3.3.4	MÓDULO DE ELASTICIDAD (E_c) Y RELACIÓN DE POISSON (μ).....	64
3.3.5	CAMBIOS VOLUMÉTRICOS.....	66
3.3.5.1.	CONTRACCIÓN POR SECADO (ϵ_u).....	66
3.3.5.2.	DEFORMACIÓN DIFERIDA (C_u).....	69
3.3.6	RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA PERMEABILIDAD DE LOS CLORUROS.....	70
3.3.6.1.	EQUIPO DE LABORATORIO PARA REALIZAR EL ENSAYE ASTM C-1202.....	71
	CONCLUSIONES.....	72
CAPITULO 4. RESULTADOS DE ENSAYES EXPERIMENTALES		
	INTRODUCCIÓN.....	73
4.1	CARACTERIZACIÓN DE LOS CONCRETOS DE BAJA RESISTENCIA.....	73
4.1.1	INCREMENTO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE CON RESPECTO A LA EDAD	73
4.1.2	RESISTENCIA A TENSIÓN INDIRECTA (f'_T).....	74
4.1.3	RESISTENCIA A TENSIÓN POR FLEXION (M_R).....	75
4.1.4	MÓDULO DE ELASTICIDAD (E_c) Y RELACIÓN DE POISSON (μ).....	76
4.1.4.1	MÓDULO DE ELASTICIDAD (E).....	76
4.1.4.2	RELACIÓN DE POISSON (μ).....	78
4.1.5	RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA PERMEABILIDAD DE LOS CLORUROS.....	79
4.1.6	CONTRACCIÓN POR SECADO (ϵ_u).....	81
4.1.7	DEFORMACIÓN DIFERIDA (C_u).....	83
4.1.7.1.	FACTOR DE CORRECCIÓN.....	83
	CONCLUSIONES.....	85

CAPITULO 5. APLICACIONES Y ÁREA DE INFLUENCIA DEL CONCRETO DE BAJA RESISTENCIA

5.1	BENEFICIOS DE LA ESTANDARIZACIÓN DEL CBR EN LA VIVIENDA.....	86
5.1.1	TECNOLOGÍA.....	86
5.1.2	DURABILIDAD.....	87
5.1.3	ECONOMÍA.....	88
5.1.4	CALIDAD DE LA VIVIENDA.....	89
5.1.5	BOSQUEJO DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.....	90
5.2	PERSPECTIVAS, TENDENCIAS Y LIMITACIONES	90
5.2.1	PERSPECTIVAS.....	90
5.2.2	TENDENCIAS.....	91
5.2.3	LIMITACIONES.....	93
5.3	NECESIDAD DE FUTURAS INVESTIGACIONES	93
	CONCLUSIONES.....	94

CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1	CONCLUSIONES.....	95
6.2	RECOMENDACIONES.....	100

BIBLIOGRAFÍA

•	FUENTES DE INFORMACIÓN CONSULTADAS	101
•	NORMAS RELACIONADAS.....	102
•	SITIOS WEB.....	103
•	TESIS RELACIONADAS.....	103

APÉNDICES:

○	APÉNDICE A PRUEBAS FÍSICAS A LOS AGREGADOS.....	I
○	APÉNDICE B DISEÑO Y DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO DE BAJA RESISTENCIA (CBR).....	XII
○	APÉNDICE C FICHAS TÉCNICAS DE ADITIVOS.....	XIX
○	APÉNDICE D RESUMEN GENERAL DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO (CBR).....	XIV
○	APÉNDICE E RELACIONES DEL CONCRETO ENDURECIDO: FC/F'C, M.E., F'CT Y MR..	XVI
○	APÉNDICE F ANÁLISIS DE LA PLASTICIDAD POR EXCESO DE FINOS EN LA ARENA.....	XXXII
○	APÉNDICE G CONTRACCIÓN POR SECADO DE CONCRETO MUESTREO OLLA.....	XXXVIII

“Los logros más importantes no se miden solo por los resultados, sino por el esfuerzo que ponemos en realizarlos y no olvides nunca: Si quieres aprender, enseña.”

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia una de las necesidades más importantes del individuo ha sido sin lugar a dudas el protegerse del medio, el encontrar un lugar cálido que brinde seguridad y protección. De ahí la importancia histórica de la vivienda y sus materiales de edificación.

Hace años nuestros antepasados construyeron viviendas con adobe desde México hasta los países del Cono Sur de la América precolombina, cuyas ruinas aún perduran, y el antiguo adobe era estabilizado con algún tipo de cementante.



Fig. I.1 Primeras viviendas

El concreto más antiguo descubierto data de 7000 A.C. y fue encontrado en 1985, durante la construcción de una carretera en Galilea, Israel, el cuál consiste en un concreto de cal, preparado con caliza calcinada para producir cal viva, que al mezclarse con agua y piedra, se endureció formando el concreto (Brown 1996 y Auburn 2000).

El cemento pórtland es un polvo capaz de reaccionar con el agua hasta transformarse en uno de los materiales más nobles de hoy en día: el concreto. El concreto es una piedra moldeable que a partir de principios del siglo pasado y hasta nuestros días, ha sido el elemento base para las grandes obras, convirtiéndose en la piedra del siglo XX que se incorpora a la historia de los pueblos dando solidez a sus viviendas.

Algunos parámetros que deben cumplir las construcciones se presentan a continuación:

- o Seguridad
- o Higiene
- o Protección ecológica
- o Habitabilidad y confort
- o Economía

El crecimiento en la demanda de vivienda de interés social en la República Mexicana lleva a pensar en la posibilidad de utilizar otras alternativas de edificación a las tradicionales.

Esta es la razón del presente estudio acerca del comportamiento de un método de construcción a base de concreto de baja resistencia (150 a 200 kg/cm²) en muros de viviendas, con el objeto de:

- a) Agilizar el tiempo de construcción
- b) Conocer las características de su comportamiento
- c) Propiciar que la vivienda económica tenga calidad digna y durabilidad adecuada
- d) Disminuir el costo de construcción

En viviendas de interés social el problema se origina debido a que las especificaciones de los materiales son menos rigurosas que las que se exigen para otros tipos de edificación (concreto estructural). Además, por lo regular se utilizan elementos estructurales con secciones relativamente pequeñas, por lo que el recubrimiento del acero es insuficiente para garantizar una protección satisfactoria.

ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN QUE NECESITARÁ VIVIENDA

En el escenario nacional es de importancia tomar en cuenta el Programa Sectorial de Vivienda 2001 – 2010 a partir del cual se extrapola la necesidad de vivienda para el 2030, se estima que para ese entonces habrá en nuestro país alrededor de 45 millones de hogares. Lo anterior, representa la necesidad de edificar a partir del 2001 un promedio de 766 mil viviendas anuales.

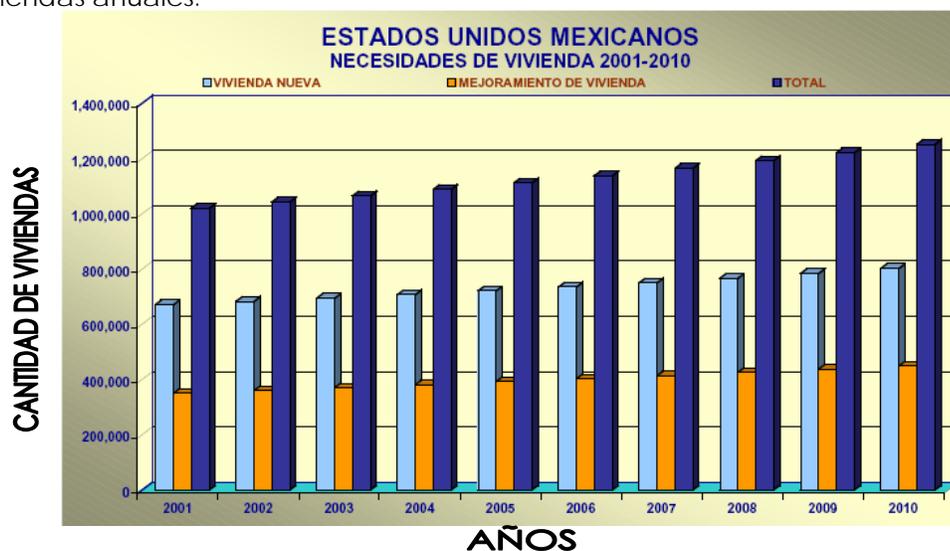


Fig. 1.2 Análisis del Crecimiento Poblacional

Con una visión a futuro y con base en éstas cifras, el gobierno Federal se propuso la meta de alcanzar un ritmo de financiamiento de vivienda de 750 mil unidades en el año 2006, cifra que deberá sostenerse al menos en este nivel, a partir de ese año, a fin de atender el rezago y las necesidades en la materia.

La tendencia poblacional llevará a un crecimiento explosivo en la formación de nuevos hogares a lo largo de los próximos treinta años, ya que la proporción de la población en edad de formar un hogar, y por consiguiente de requerir vivienda, estará en constante crecimiento.¹

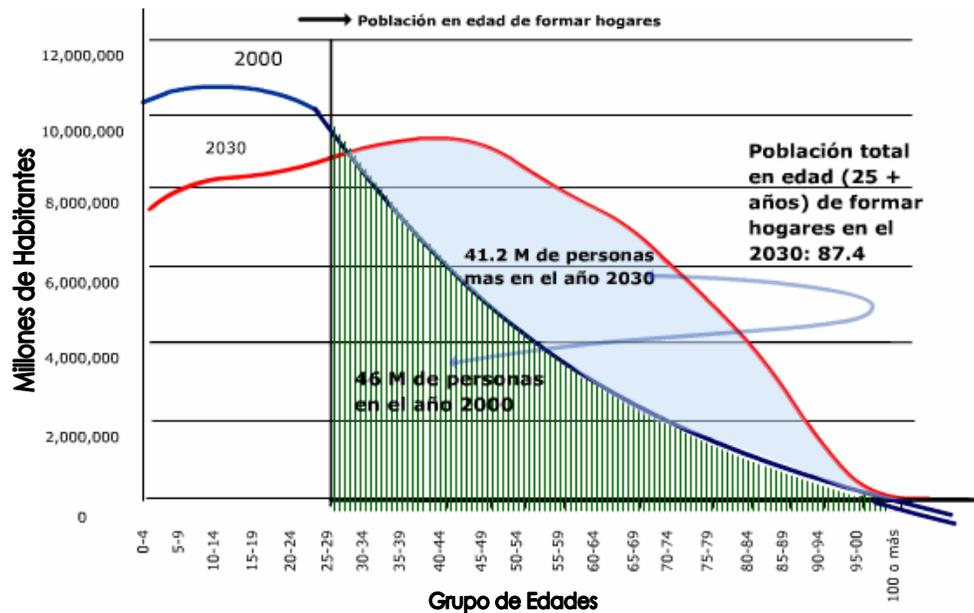


Fig. I.3 Análisis de la Población con Necesidad de Vivienda

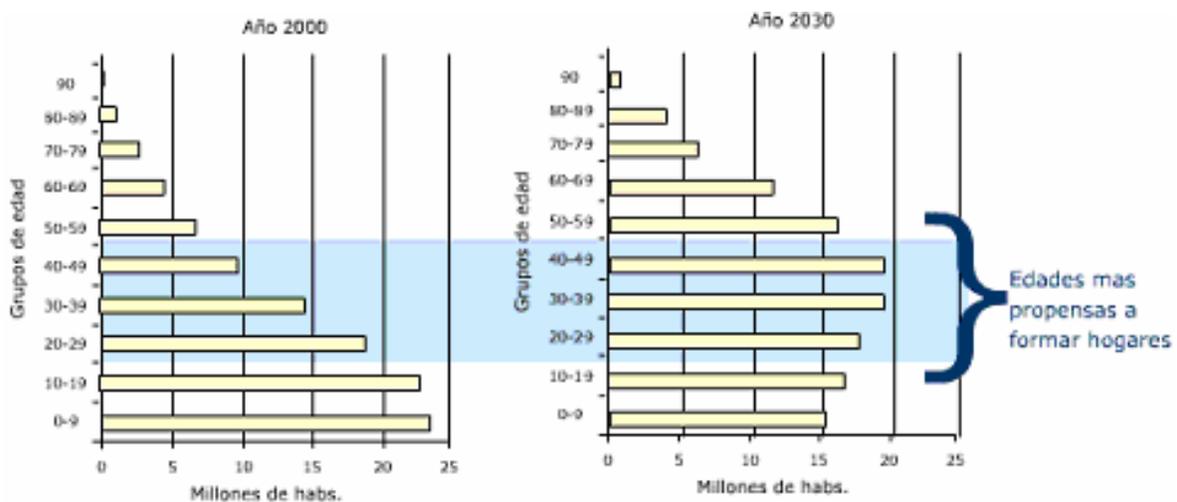


Fig. I.4 Gráfica de Distribución Poblacional

¹ Fuente: <http://www.conafovi.gob.mx>

OBJETIVOS

- OBJETIVO GENERAL
 - Verificar si las normas vigentes para la construcción de viviendas de interés social en la zona metropolitana de la Ciudad de México son adecuadas para garantizar la resistencia y durabilidad de las viviendas.

- OBJETIVOS PARTICULARES
 - La investigación tendrá por objetivo particular la caracterización del concreto empleado en obras de interés social, mediante la determinación de propiedades tales como: resistencia a la compresión, módulo elástico, relación de Poisson, contracción por secado, deformación diferida, permeabilidad a los iones de cloruros, esfuerzo de flexión del concreto, etc.

 - Explorar la posibilidad de prolongar la vida útil de la vivienda de interés social recomendando las características mínimas que deberán tener los concretos empleados en sus zapatas, castillos, trabes, losas, etc.

 - Verificar mediante muestreo aleatorio si los concretos de baja resistencia empleados son los adecuados en comparación con lo que recomiendan las normas, ya sea nacionales o internacionales.

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La falta de información específica sobre concretos de baja resistencia en viviendas justifica la realización del estudio. En él se tratarán los siguientes temas:

- Para la realización de éstas pruebas se buscará información bibliográfica, se harán visitas de campo, a fin de que los concretos que se estudien sean representativos de lo que se emplea en este tipo de vivienda.

 - Se verificará en laboratorio el cumplimiento con las normas en la República Mexicana, tal como R.C.D.F., N.T.C., O.N.N.C.C.E., o extranjeras como ASTM, ACI, etc.
-

- Se establecerá un procedimiento normativo para los concretos de baja resistencia empleados en viviendas de interés social en el cual se abarque temas como lo son: la durabilidad, la resistencia a compresión y tensión, permeabilidad, resistencia a la permeabilidad de iones de cloruros, etc., ya que en las normas nacionales, tal como R.C.D.F, N.T.C, O.N.N.C.C.E se observa que no hay un apartado específico que contemple este tema.

HIPÓTESIS

“A través de la estandarización desarrollada mediante la investigación de las características físicas y mecánicas de los concretos de baja resistencia empleado en la construcción de viviendas de interés social permite como reglamento de apoyo alterno incrementar el conocimiento en el diseño y fabricación de mezclas de concreto para elevar su calidad y extender su vida útil total”

ALCANCES

- Tipo de investigación; se concebirá de carácter comparativo-propositivo.
 - El tipo de obras hacia las cuales se orientará serán los conjuntos habitacionales y viviendas de interés social.
 - Se estudiarán los concretos de baja resistencia elaborados con los principales agregados pétreos que se encuentran en los bancos de materiales del área metropolitana de la Ciudad de México que emplean las plantas premezcladoras para la construcción de vivienda de interés social.
 - Se enfocará a la principal inmobiliaria de vivienda de interés social que opera en el área metropolitana del Estado de México.
-

RESUMEN

El interés por desarrollar el presente tema de investigación parte de dos puntos fundamentales: el primero, la tendencia poblacional llevará a un crecimiento explosivo en la formación de nuevos hogares a lo largo de los próximos años, debido a la proporción de la población en edad de formar un hogar, y por consiguiente de requerir vivienda, está en constante crecimiento; y segundo, que en las normas vigentes, tales como R.C.D.F., N.T.C., O.N.N.C.C.E. en la República Mexicana, no especifican un apartado en el que se contemple en forma explícita las características del concreto de baja resistencia (CBR). Lo anterior da pie a que en el ámbito de la construcción de vivienda económica no se aproveche en forma eficiente el potencial del CBR.

En el presente trabajo se estudia el comportamiento y caracterización del concreto de baja resistencia (CBR), $f'c$ en el intervalo de 150 a 200 kg/cm², material principalmente usado en la edificación de este tipo de vivienda, que con el empleo de métodos y técnicas de construcción avanzadas se pretende:

- a) Agilizar el tiempo y disminuir costo de construcción
- b) Aprovechar en forma óptima las características de su comportamiento
- c) Propiciar que la vivienda económica tenga calidad digna y durabilidad adecuada

Para lo cual, se llevaron a cabo muestreos aleatorios en obra y se realizaron diseños de mezclas en laboratorio con la finalidad de observar, evaluar y diagnosticar mediante ensayos físicos y mecánicos, estandarizados por la ASTM, el comportamiento y desempeño del CBR.

Los resultados de este estudio ayudará al diseñador y constructor a incrementar la eficiencia en el uso del CBR y aumentar la vida útil de la vivienda de interés social.

CAPITULO 1.

ANTECEDENTES DEL CONCRETO ESTRUCTURAL

INTRODUCCIÓN

La historia del cemento se gesta con la del hombre en la búsqueda de un espacio para vivir con la mayor comodidad, seguridad y protección posible. Desde que el ser humano superó la época de las cavernas ha aplicado sus mayores esfuerzos a delimitar su espacio vital, satisfaciendo primero sus necesidades de vivienda y, después, levantando construcciones con requerimientos específicos. Templos, palacios y museos son el resultado del esfuerzo que constituye las bases para el progreso de la humanidad.

El pueblo egipcio ya utilizaba un mortero – mezcla de arena con materia cementosa – para unir bloques y losas de piedra al erigir sus asombrosas construcciones (las tres grandes pirámides de Keops, Kefrén y Mikerinos, principalmente).

Los constructores griegos y romanos descubrieron que ciertos depósitos volcánicos, mezclados con caliza y arena producían un mortero de gran durabilidad, capaz de resistir la acción del agua, dulce o salada. Un material volcánico muy apropiado para éstas aplicaciones lo encontraron los romanos en un lugar llamado Pozzuoli; este material actualmente lo conocemos como puzolana.



Fig. 1.1 Pirámides de Egipto

Investigaciones y descubrimientos a lo largo de miles de años conducen, a principios del siglo pasado a patentar en Inglaterra una mezcla de caliza dura, molida, que al agregar agua, producía una pasta que se mezclaba, calcinaba, y molía hasta producir un polvo fino que es el antecedente del cemento Portland de nuestro tiempo.

El nombre del cemento Pórtland le fue dado por la similitud que éste tenía con la piedra de la isla de Pórtland, en Inglaterra.

La aparición de éste cemento y de su producto resultante, el concreto, ha sido un factor determinante para que el mundo adquiriera una fisonomía diferente: edificios, calles, avenidas, carreteras, presas y canales, fabricas, talleres y casas, dentro



Fig. 1.2 Piedra de cantera de la isla de Pórtland cerca de un cilindro de concreto.

del más alto rango de tamaño y variedades dan un mundo nuevo de comodidad, de protección y belleza en donde realizar los mas ansiados anhelos; un mundo nuevo para trabajar, para crecer, para progresar, para vivir.

El concreto se presta para la producción de todos los componentes básicos de la edificación: cimentación, pisos, losas, muros y marcos, así como los diversos tipos de sistemas estructurales, incluyendo arcos, cúpulas, cascarones, armaduras y estructuras especiales; es un material de construcción inerte y durable.

1.1 COMPONENTES PRINCIPALES DEL CONCRETO

El concreto es una mezcla de dos compuestos principales: agregados pétreos y pasta. La pasta se compone de material cementante (principalmente cemento p rtland) y agua, a ésta se le unen la arena y grava. Esto crea una masa similar a una roca, a través del endurecimiento de la pasta por reacción química del cemento con el agua.



Fig. 1.3 Materiales para concreto

1.1.1. CEMENTANTES

Durante la calcinación, en la fabricación del clinker de cemento p rtland, el óxido de calcio se combina con los componentes ácidos de la materia prima para formar cuatro compuestos fundamentales (silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y ferroaluminato tetracálcico) que constituyen el 90% del peso del cemento. También se encuentran presentes yeso y otros materiales.

Los cementos p rtland son cementos hidráulicos (ASTM C-150) que están compuestos principalmente de silicatos de calcio (tabla 1.1).

TABLA 1.1 COMPONENTES DEL CEMENTO PÓRTLAND

Nombre del Componente	Composición del Oxido	Abreviación
(Alita) Silicato tricálcico 40-60%	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
(Belita) Silicato dicálcico 20-30%	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
(Celita) Aluminato tricálcico 7-14%	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
(Ferrita) Ferroatuminato tetracálcico 5-12%	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

- **El silicato tricálcico, C_3S** , se hidrata y endurece rápidamente y es responsable en gran medida del fraguado inicial y de la resistencia temprana. En general la resistencia temprana del concreto de cemento pórtland es mayor con porcentajes superiores de C_3S .
- **El silicato dicálcico, C_2S** , se hidrata y endurece lentamente y contribuye en gran parte al incremento de resistencia a edades mayores de una semana.
- **El aluminato tricálcico, C_3A** , libera una gran cantidad de calor durante los primeros días de hidratación y endurecimiento. También contribuye levemente al desarrollo de la resistencia temprana. El yeso, que se agrega al cemento durante la molienda final, retrasa la velocidad de hidratación del C_3A . Sin el yeso, un cemento fraguaría rápidamente. Los cementos con bajos porcentajes de C_3A son particularmente resistentes a los suelos y aguas que contienen sulfatos.
- **El ferroatuminato tetracálcico, C_4AF** , reduce la temperatura de formación del clinker, ayudando por tanto a la manufactura del cemento. Se hidrata con cierta rapidez pero contribuye mínimamente a la resistencia. La mayoría de los efectos de color se debe al C_4AF y a sus hidratos.

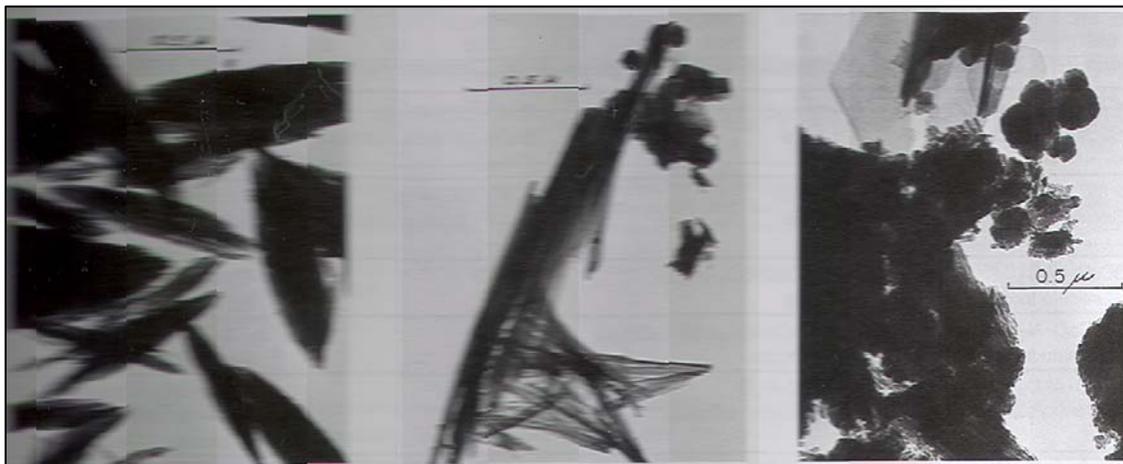


Fig. 1.4 Micrografías electrónicas: (izquierda) silicato dicálcico hidratado; (centro) silicato tricálcico hidratado y (derecha) cemento pórtland normal hidratado. La unión de las fibras y adhesión de las partículas de hidratación son responsables del desarrollo de la resistencia de la pasta de cemento pórtland.

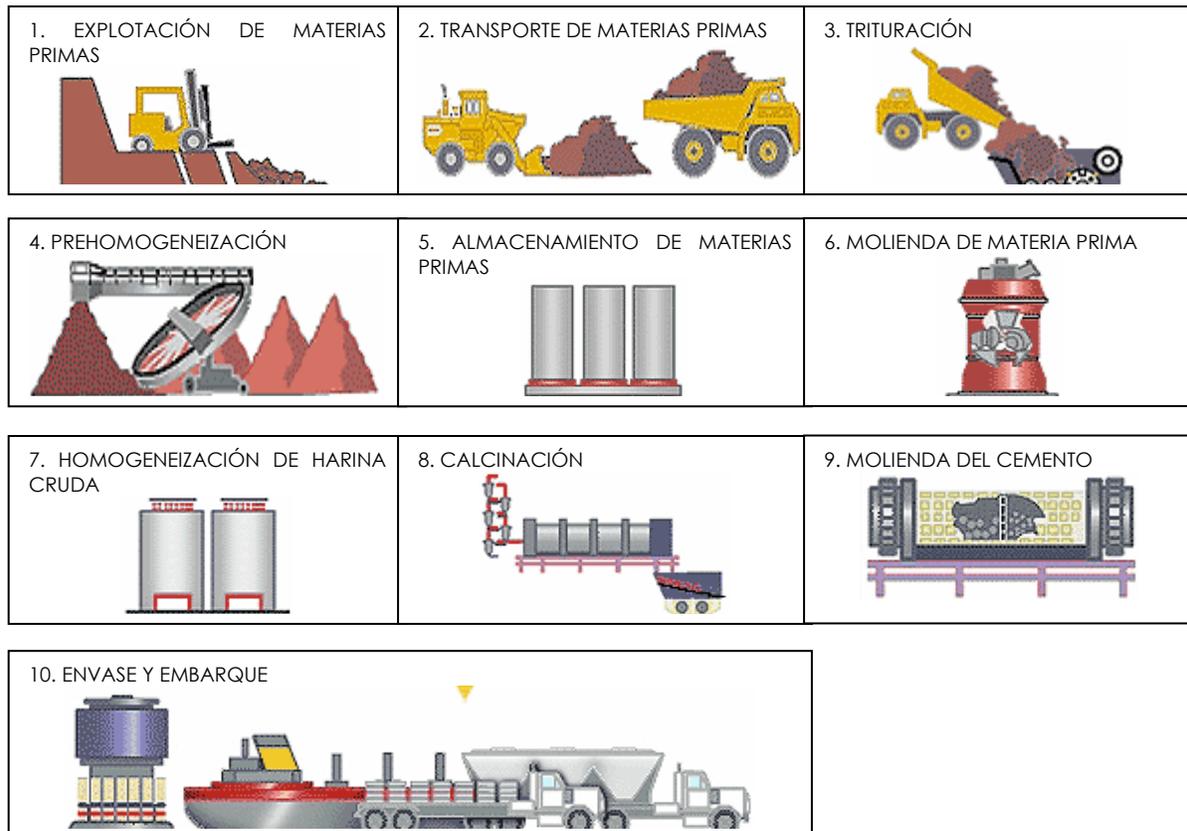
El proceso de fabricación consiste esencialmente en moler las materias primas hasta reducirlas a un polvo muy fino, mezclarlas íntimamente en proporciones predeterminadas calcinarlas en un horno rotatorio a una temperatura cerca de 1,400°C (2,550 °F) y al fundirse parcialmente se convierte en clinker.



Fig. 1.5 Clinker de cemento pórtland

El clinker se enfría y muele finamente, se le agrega yeso (ayuda a controlar el tiempo de fraguado, las propiedades de contracción por secado y el desarrollo de la resistencia) y el producto resultante es el cemento pórtland utilizado a través del mundo.²

En el siguiente esquema se presenta en forma resumida el procedimiento de fabricación del cemento, desde la explotación de materia prima hasta su comercialización:



² KOSMATKA, Steven H; KERKHOFF, Beatrix; PANARESE, William C., *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*, 1ra Edición, Ed. Portland Cement Association PCA, México, 2004, 456 pág.

En la tabla 1.2 se hace referencia a los cementos producidos en la República Mexicana reglamentados bajo la norma NMX-C-414-ONNCCE-2003 y en el panorama internacional se estandarizan bajo las normas ASTM C-150 Standard Specification for Portland Cement (Especificación estándar para cementos pórtland) y ASTM C-595 Standard Specification for Blended Hydraulic Cements (Especificación estándar para cementos hidráulicos mezclados).

TABLA 1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS MEXICANOS

TIPO	DENOMINACIÓN	CLASE RESISTENTE	CARACTERÍSTICAS ESPECIALES
CPO	Cemento Pórtland Ordinario	20	RS Resistente a los Sulfatos
CPP	Cemento Pórtland Puzolánico	30	BRA Baja Reactividad Alkali agregado
TPEG	Cemento Pórtland con Escoria Granulada de Alto Horno	30 R	BCH Bajo Calor de Hidratación
CPC	Cemento Pórtland Compuesto	40	B Blanco
CPS	Cemento Pórtland con Humo de Sílice	40 R	----
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno	----	----

FUENTE: NMX-C-414-ONNCCE-2003

La resistencia normal de un cemento es la resistencia mínima mecánica a la compresión a los 28 días y se indica como 20, 30 ó 40 en Newton por milímetro cuadrado (N/mm²) como se señala en la tabla 1.3 de las normas mexicanas.

TABLA 1.3.- ESPECIFICACIONES FÍSICAS

CLASE RESISTENTE	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (N/mm ²)			TIEMPO DE FRAGUADO (MIN)		ESTABILIDAD DE VOLUMEN EN AUTOCLAVE (%)	
	3 DÍAS	28 DÍAS		INICIAL	FINAL	EXPANSIÓN	CONTRACCIÓN
	MÍNIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÁXIMO	MÁXIMO
20	-	20	40	45	600	0.80	0.20
30	-	30	50	45	600	0.80	0.20
30R	20	30	50	45	600	0.80	0.20
40	-	40	-	45	600	0.80	0.20
40R	30	40	-	45	600	0.80	0.20

FUENTE: NMX-C-414-ONNCCE-2003

1.1.2. AGREGADOS PÉTREOS

Los agregados fino y grueso (arenas y gravas) ocupan entre el 60% y el 75% del volumen del concreto (70% a 85% de su masa). Su calidad es de vital importancia ya que de ella depende la economía, la resistencia, la durabilidad y el desempeño estructural del concreto.

Las características de estudio en el agregado son: la porosidad, distribución de tamaños, la absorción de humedad, la forma, textura de la superficie, la resistencia a la ruptura, el módulo de elasticidad y el material contaminante que contenga.

Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 5 mm. Los agregados gruesos consisten en una grava o una combinación de grava y agregado triturado cuyas partículas son predominantemente mayores que 5mm y generalmente entre 9.5 mm y 37.5 mm.



Fig. 1.6 Agregado fino y grueso

Algunos depósitos naturales de agregado, a veces llamados gravas se obtienen de banco, río, lago o lecho marino. El agregado triturado se produce triturando roca de cantera, piedra bola o grava de gran tamaño. La escoria de alto horno enfriada al aire y triturada también se utiliza como agregado grueso o fino.

Los agregados deben satisfacer normas para su uso óptimo en ingeniería: deben ser partículas limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, revestimiento de arcilla u otros materiales finos en cantidades que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento.

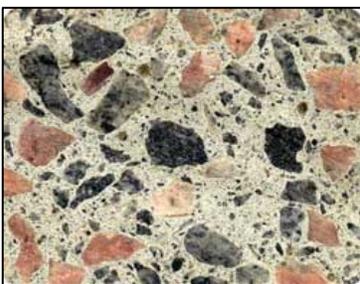


Fig. 1.7 Distribución del agregado en el concreto

Los más utilizados son arena, grava y escoria de alto horno enfriada al aire, de los cuales se producen concretos frescos de *peso normal* con masa volumétrica de 2,200 a 2,400 kg/m³.

También se pueden fabricar concretos con características especiales en donde influye el tipo de agregado como:

- Los agregados como el esquisto, arcilla, pizarra y escoria expandida se emplean para fabricar *concretos ligeros* de masa volumétrica en estado fresco de 1,350 a 1,850 kg/m³.
- Otros materiales ligeros como la piedra pómez, perlita, vermiculita y diatomita se emplean para fabricar concreto ligero aislante con masa volumétricas de 250 a 1,450 kg/m³.
- Cuando se enfría la escoria de alto horno se produce un material granular, el cual es molido hasta menos de 45µm; la masa específica relativa es de 2.85 a 2.95 y la masa unitaria varía de 1,050 a 1,375 kg/m³.
- Para la fabricación de concretos pesados se emplean agregados como la barita, limonita, magnetita, ilmenita, hematina y esferas de hierro con las que se obtienen densidades elevadas y se emplean para disminuir la radiación, con una masa volumétrica que oscila entre 2,890 a 6,100 kg/m³.



Fig. 1.8 Agregado ligero. Arcilla expandida y esquisto expandido

Las propiedades del agregado se analizan en 2 partes sobre la base de los aspectos que afectan:

- Las proporciones de la mezcla
- El comportamiento del concreto fresco y endurecido

A continuación se dividen las propiedades en los siguientes grupos basándose en los factores de microestructura y de procesamiento:

- *Características que dependen de la porosidad:* densidad, absorción de humedad, resistencia, dureza, módulo de elasticidad y sanidad.
- *Características que dependen de la exposición de los factores de procesamiento:* dimensión de partículas, forma y textura.
- *Características que dependen de la composición química y mineralógica:* resistencia, dureza, módulo de elasticidad y sustancias nocivas presentes.

TABLA 1.4 CARACTERÍSTICAS Y ENSAYES DE LOS AGREGADOS

Característica	Importancia	Requisito o característica reportada	NORMA ASTM
Resistencia a abrasión y degradación	Índice de calidad del agregado: resistencia al desgaste de pisos y pavimentos	Porcentaje máximo de pérdida de masa. Profundidad de desgaste y tiempo	C-131 C-535 C-779
Resistencia a congelación-deshielo	Descascaramiento superficial, aspereza, pérdida de sección y estética	Número máximo de ciclos o período de inmunidad a congelación, factor de durabilidad	C-666 C-682
Resistencia a desintegración por sulfatos	Sanidad contra el intemperismo	Pérdida de masa, partículas que muestren fallas	C-88
Forma y textura superficial de las partículas	Trabajabilidad del concreto fresco	Porcentaje máximo de partículas planas y elongadas	C-295
Granulometría	Trabajabilidad del concreto fresco y economía	Porcentaje mínimo y máximo que pasan por los tamices estándar	C-117 C-136
Degradación del agregado fino	Índice de la calidad del agregado: resistencia a degradación durante el mezclado	Cambio de granulometría	C-1137
Contenido de vacíos no compactado del agregado fino	Trabajabilidad del concreto fresco	Contenido de vacíos no compactado del agregado fino y gravedad específica	C-1252
Masa volumétrica (masa unitaria)	Cálculos de diseño de la mezcla, clasificación	Peso compactado y peso suelto	C-29
Masa específica relativa	Cálculos de diseño de la mezcla	----	C-127 C-128
Absorción y humedad superficial	Control de la calidad del concreto (Relación agua/cementante)	----	C-70, C-127, C-128, C-566
Resistencia a compresión y flexión	Aceptación del agregado fino que no haya pasado en los otros ensayos	La resistencia que exceda 95% de la resistencia lograda con arena purificada	C-39 C-78
Constituyentes del agregado	Determinar la cantidad de material deletéreo y orgánico	Porcentaje máximo permitido de las constituyentes individuales	C-40, C-87, C-117, C-123, C-142, C-295

Resistencia a la reactividad con los álcalis y cambio de volumen	Sanidad contra cambios de volumen	Cambio máximo longitudinal, constituyentes, cantidad de sílice y alcalinidad	C-227, C-289, C-295, C-342, C-586, C-1260, C-1293
--	-----------------------------------	--	---

FUENTE: Ver capítulo 5 Diseño y Control de Mezclas de Concreto Kosmatka, Steven H; Kerkhoff, Beatrx; Panarese, William C

1.1.2.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

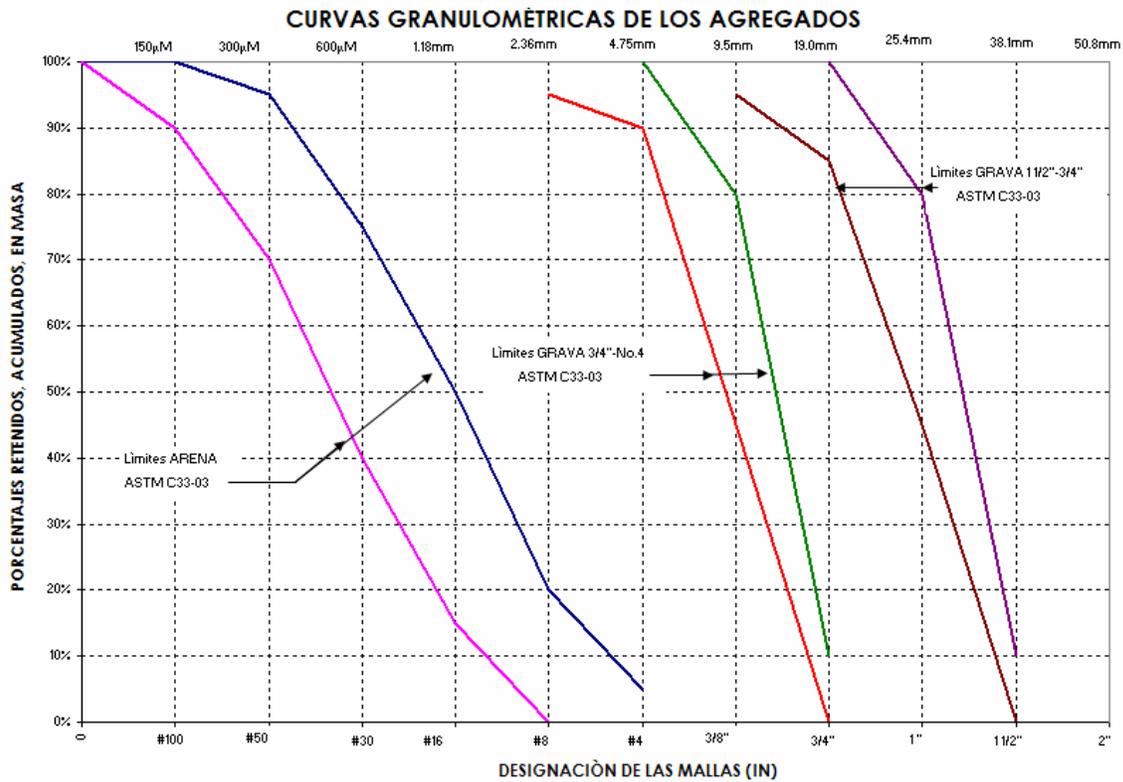
La granulometría más conveniente para el agregado fino, depende del tipo de trabajo, de la riqueza de la mezcla, y del tamaño máximo del agregado grueso.

- En mezclas pobres, o cuando se emplean agregados gruesos de tamaño pequeño, la granulometría que más se aproxime al porcentaje máximo que pasa por cada criba resulta lo más conveniente para lograr una buena trabajabilidad.
- Si la relación agua-cemento se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso se elige correctamente, se puede hacer uso de un amplio rango en la granulometría sin tener un efecto apreciable en la resistencia. En ocasiones se obtendrá una economía máxima, ajustando la mezcla del concreto para que encaje con la granulometría de los agregados locales.
- Entre más uniforme sea la granulometría, mayor será la economía. La granulometría del agregado fino dentro de los límites de la norma ASTM C-33, generalmente es satisfactoria para la mayoría de los concretos.

TABLA 1.5 LOS LÍMITES DE LA NORMA ASTM C-33 CON RESPECTO AL TAMAÑO DE LAS CRIBAS

Tamaño de la malla	Porcentaje que pasa en peso
9.52 mm (3/8")	100
4.75 mm (No.4)	95 a 100
2.36 mm (No.8)	80 a 100
1.18 mm (No.16)	50 a 85
0.60 mm (No.30)	25 a 60
0.30 mm (No.50)	10 a 30
0.15 mm (No.100)	2 a 10

TABLA 1.6 CURVA GRANULOMÉTRICA PARA IDENTIFICAR LA CALIDAD DEL AGREGADO



1.1.2.2 MÓDULO DE FINURA

El módulo de finura (FM) del agregado grueso o del agregado fino se obtiene, conforme a la norma ASTM C-125, sumando los porcentajes acumulados en peso de los agregados retenidos en una serie especificada de mallas y dividiendo la suma entre 100.

- Las mallas que se emplean para determinar el módulo de finura son la de 0.15 mm (No.100), 0.30 mm (No.50), 0.60 mm (No.30), 1.18 mm (No.16), 2.36 mm (No.8), 4.75 mm (No.4), 9.52 mm (3/8"), 19.05 mm (3/4"), 38.10 mm (1 1/2"), 76.20 mm (3"), y 152.40 mm (6").
- El módulo de finura es un índice de la finura del agregado, entre mayor sea el módulo de finura, más grueso será el agregado. Diferentes granulometrías de agregados pueden tener igual módulo de finura.
- El módulo de finura del agregado fino es útil para estimar las proporciones de los agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto.

TABLA 1.7 EJEMPLO DE LA DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE FINURA EN AGREGADO FINO

Tamaño de la malla	Porcentaje de la fracción individual retenida, en peso	Porcentaje acumulado que pasa, en peso	Porcentaje acumulado retenido, en peso
9.52 mm (3/8")	0	100	0
4.75 mm (No.4)	2	98	2
2.36 mm (No.8)	13	85	15
1.18 mm (No.16)	20	65	35
0.60 mm (No.30)	20	45	55
0.30 mm (No.50)	24	21	79
0.15 mm (No.100)	18	3	97
Charola	3	0	---
Total	100		283 Módulo de finura = 283/100 = 2.83

1.1.2.3 CONTENIDO DE HUMEDAD

La absorción y humedad superficial de los agregados se debe determinar de acuerdo con las normas ASTM C-70, C-127, C-128 y C-566 de manera que se pueda controlar el contenido neto de agua en el concreto y se puedan determinar los pesos correctos de cada mezcla. La estructura interna de una partícula de agregado, está constituida de materia sólida y de vacíos que pueden o no contener agua.

Las condiciones de humedad de los agregados se muestran en la figura 1.9 Se designan como:

- *Secado al horno.* Completamente absorbentes.
- *Secados al aire.* Secos en la superficie de la partícula pero conteniendo cierta humedad interior, siendo por lo tanto algo absorbentes.
- *Saturados y superficialmente secos (SSS).* No absorben ni ceden agua a la mezcla de concreto.
- *Húmedo.* Contienen un exceso de humedad en la superficie (agua libre).

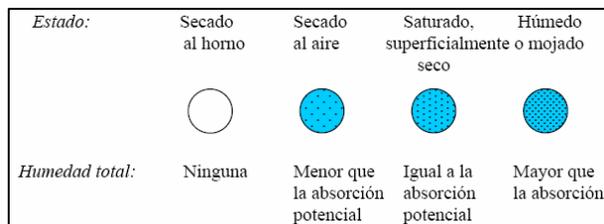


Fig. 1.9 Estados de humedad de los agregados

Las Normas Técnicas Complementarias (N.T.C 2004) especifican las siguientes características para los agregados:

14.3.1 Materiales componentes

La calidad y proporciones de los materiales componentes del concreto serán tales que se logren la resistencia, rigidez y durabilidad necesarias.

La calidad de todos los materiales componentes del concreto deberá verificarse antes del inicio de la obra y también cuando exista sospecha de cambio en las características de los mismos o haya cambio de las fuentes de suministro. Esta verificación de calidad se realizará a partir de muestras tomadas del sitio de suministro o del almacén del productor de concreto.

Tabla 14.1 Requisitos adicionales para materiales pétreos

Propiedad	Concreto clase 1	Concreto clase 2
Coefficiente volumétrico de la grava, mínimo	0.20	—
Material más fino que la malla F 0.075 (No. 200) en la arena, porcentaje máximo en peso (NMX-C-084).	15	15
Contracción lineal de los finos (pasan la malla No. 40) de la arena y la grava, en la proporción en que éstas intervienen en el concreto, a partir del límite líquido, porcentaje máximo.	2	3

Los materiales pétreos, grava y arena, deberán cumplir con los requisitos de la norma NMX-C-111, con las modificaciones y adiciones de la tabla 14.1.

El concreto clase 1 se fabricará con agregados gruesos con peso específico superior a 2.6 (caliza, basalto, etc.) y el concreto clase 2 con agregados gruesos con peso específico superior a 2.3, como andesita. Para ambos se podrá emplear arena andesítica u otra de mejores características.

1.1.3. AGUA

El agua que se emplea en la construcción es de dos tipos: uno para mezclado y otra para curado.

El agua de mezclado deberá ser limpia y cumplir con los requisitos de la norma NMX-C-122. Si contiene sustancias en solución o en suspensión que la enturbien o le produzcan olor o sabor fuera de lo común, no deberá emplearse.³

El agua suele representar entre un 10% a 25% del volumen del concreto recién mezclado, dependiendo del tamaño máximo del agregado que se utilice y del revenimiento que se necesite. También no necesariamente debe ser potable, aunque deberá satisfacer las normas establecidas como las ASTM C-94. NMX-C-122-82 que muestran parámetros mínimos de calidad.

La calidad del agua es de importancia ya que las impurezas excesivas en el agua no solo pueden afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, si no también pueden ser causa de eflorescencia, manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad volumétrica y una menor durabilidad.

Para verificar la calidad del agua y saber si se puede usar para fabricar concreto, se hacen cubos de mortero (Norma ASTM C-109); los producidos con ella deberán alcanzar una resistencia a los siete días de al menos 90% de la obtenida con especímenes fabricados con agua potable o destilada.

³ Normas Técnicas Complementarias (N.T.C 2004) Sección Estructuras de Concreto

Se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones en la calidad del agua:

- El agua que contiene menos de 2,000 partes por millón (ppm) de sólidos disueltos totales generalmente pueden ser utilizada de manera satisfactoria para elaborar concreto.
- El agua que contenga más de 2,000 ppm de sólidos disueltos deberá ser ensayada para investigar su efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado.



Fig. 1.10 Agua para fabricación de concreto

1.1.3.1 CARBONATO ALCALINO Y BICARBONATO

El carbonato de sodio puede causar fraguados muy rápidos, en tanto que lo bicarbonatos pueden acelerar o retardar el fraguado. En concentraciones fuertes éstas sales pueden reducir de manera significativa la resistencia del concreto. Cuando la suma de las sales disueltas exceda 1,000 ppm, se deberán realizar pruebas para analizar su efecto sobre el tiempo de fraguado y sobre la resistencia a los 28 días. También se deberá considerar la posibilidad que se presenten reacciones álcali – agregado graves.

1.1.3.2 CLORUROS

La inquietud respecto a un elevado contenido de cloruros en el agua de mezclado, se debe principalmente al posible efecto adverso que los iones de cloruro pudieran tener en la corrosión del acero de refuerzo, o de los torones de presfuerzo. Los iones de cloruro atacan la capa de óxido protectora formada en el acero por el medio químico altamente alcalino (pH 12.5) presente en el concreto.

Los cloruros se pueden introducir en el concreto, ya sea con los ingredientes empleados – aditivos, agregados, cemento, y agua – o a través de la exposición a las sales anticongelantes, al agua de mar, o al aire cargado de sales cerca de las costas. El agua que se utilice en concreto presforzado o en un concreto que vaya a tener embebido acero no deberá contener cantidades nocivas del ión cloruro.

Las aportaciones de cloruros de los ingredientes distintos al agua también se deberán tomar en consideración. Los aditivos de cloruro de calcio se deberán emplear con mucha precaución.

El Reglamento de Construcción del American Concrete Institute, ACI 318-05, limita el contenido de ión cloruro soluble al agua en el concreto, a los siguientes porcentajes en peso del cemento:

- *Concreto pretensado 0.06%*
- *Concreto reforzado expuesto a cloruros durante su vida 0.15%*
- *Concreto reforzado que va a ser mantenido seco y protegido de la humedad durante su vida 1.00%*
- *Otras construcciones en concreto reforzado 0.30%*
- *El ACI 318 no limita la cantidad de cloruros en el concreto simple*

La prevención de los efectos del agua impropia se consigue por medio del análisis químico del agua, verificando que no contenga cantidades excedidas de sulfatos, álcalis, cloruros, dióxido de carbono disuelto, carbonatos de calcio y de magnesio, sales de hierro, diversas sales inorgánicas, aguas de mar, aguas ácidas, aguas alcalinas, entre otros.

1.1.4. ADITIVOS

Los aditivos son materiales distintos del agua, los agregados, los cementos hidráulicos y el refuerzo de fibra, utilizado como un ingrediente del concreto o del mortero y que se agrega a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado según ASTM C-125.

Los aditivos (Comité 212) se pueden clasificar según sus funciones, como:

1. Aditivos incorporadores de aire (inclusotes de aire)
2. Aditivos reductores de agua
3. Plastificantes (fluidificantes)
4. Aditivos aceleradores (acelerantes)
5. Aditivos retardadores (retardantes)
6. Aditivos de control de hidratación
7. Inhibidores de corrosión
8. Reductores de retracción (contracción)
9. Inhibidores de reacción álcali-agregado
10. Aditivos colorantes
11. Aditivos diversos, aditivos para mejorar la manejabilidad, la adherencia, a prueba de humedad, impermeabilizantes, para lechadas, formadores de gas, anti-deslave, espumante y auxiliares de bombeo.



Fig. 1.11 Aditivos para concreto

También cabe mencionar que los aditivos son de gran utilidad para:

1. Reducir el costo de la construcción de concreto.
2. Obtención de ciertas propiedades en el concreto de manera más efectiva que otras.
3. Conservación de la calidad del concreto durante las etapas de mezclado, transporte, colocación y curado en condiciones de clima adversos.
4. Superación de ciertas deficiencias o emergencias durante las operaciones de mezclado, transporte, colocación y curado.

Se debe observar que ningún aditivo de cualquier tipo o en cualquier cantidad se puede considerar como un sustituto de las buenas prácticas de construcción o, en su caso, la pobre calidad de los ingredientes del concreto.

La situación actualmente del empleo de aditivos es diferente: éstos se han vuelto una parte integral tan importante del concreto, que en el futuro la definición de la composición del concreto podrá tener que revisarse para incluir aditivos como uno de sus componentes.

Sin embargo, los problemas asociados con el mal uso de aditivos prevalecen. Su origen es que la mayoría de los problemas está en la incompatibilidad entre un aditivo en particular y una composición de cemento, o entre dos o más aditivos que pueden estar presentes en la matriz.

1.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

El concreto fresco es un material progresivo⁴ ya que continuamente cambian sus propiedades. Tales cambios comienzan desde que el concreto es fabricado, transportado, colocado, compactado y acabado en una forma homogénea, usualmente sin vacíos, solo con aire atrapado.

Las propiedades del concreto endurecido: resistencia, estabilidad volumétrica y durabilidad son afectadas seriamente por el grado de compactación; es vital que la consistencia y trabajabilidad del concreto fresco sea tal que el concreto pueda ser transportado, colocado, compactado y terminado fácilmente sin segregación.

⁴ CFE, *Manual de Tecnología del Concreto*, Sección II "Concreto Fresco y en Curso de Endurecimiento", 1ra. Edición, Ed. Limusa, México, 2000, 262 Pág.

1.2.1 HOMOGENEIDAD Y UNIFORMIDAD

Para que un concreto se considere trabajable es necesario que conserve su homogeneidad desde su fabricación hasta su acabado dentro de la cimbra.

Para evaluar su homogeneidad, al término del mezclado se pueden obtener dos o más muestras representativas del concreto, en el curso de su descarga de la mezcladora, para efectuarles diversas pruebas cuyos resultados se comparan. A medida que la mezcla es más homogénea se reduce la diferencia de los resultados comparados.

La falta de homogeneidad de la mezcla de concreto se debe:

1. El sistema de carga, el orden y rapidez con que se introducen los ingredientes
2. El tiempo de mezclado
3. El volumen de materiales para fabricación en relación a la capacidad del equipo
4. El sistema y condiciones de descarga del concreto
5. Las características del equipo para fabricación del concreto
6. El procedimiento de muestreo y prueba del concreto

Prácticamente, la finura es la única característica del cemento que puede aportar beneficio a la cohesión y la manejabilidad de las mezclas de concreto. Sin embargo, existen otros factores con efectos más decisivos para evitar que las mezclas de concreto segreguen durante su manejo y colocación.

Entre tales factores puede mencionarse la composición granulométrica y el tamaño máximo del agregado, el consumo unitario de cementante, los aditivos inclusores de aire y el diseño de la mezcla de concreto.

TABLA 1.8 REQUISITOS DE HOMOGENEIDAD DEL CONCRETO⁵

Determinación	Ensaye ASTM	Diferencia Máxima NMX C-155 (ASTM C-143)
Masa Volumétrica (kg/m ³)	C -138	16
Contenido de Aire (%)	C - 231, C - 173	1
Consistencia (Revenimiento, cm): Si el promedio es menor de 5 cm Si el promedio es entre 6 y 10 cm	NMX C-143	±1.5 ±2.5

⁵ Idem.

Si el promedio es entre 10 y 15 cm		±3.5
Si el promedio es mayor de 15 cm		±3.5
Resistencia promedio a compresión a 7 días, basada en el promedio de las resistencias de todas las muestras comparativas ensayadas, %	C -31 C -39	7.5

1.2.2 CONSISTENCIA

La prueba de revenimiento o asentamiento de cono de Abrams es el método aceptado y normalizado para medir la consistencia del concreto.

El esfuerzo requerido para compactar el concreto es marcado por sus características del flujo y la facilidad con la que se puede lograr la reducción de vacíos sin destruir la estabilidad bajo presión.

La estabilidad es un índice tanto de la capacidad de retención de agua (opuesto al sangrado), como de la capacidad de retención del agregado grueso (opuesto a la segregación) de una mezcla de concreto plástico.

La pérdida de revenimiento es la pérdida de la consistencia en un concreto fresco con el tiempo transcurrido.

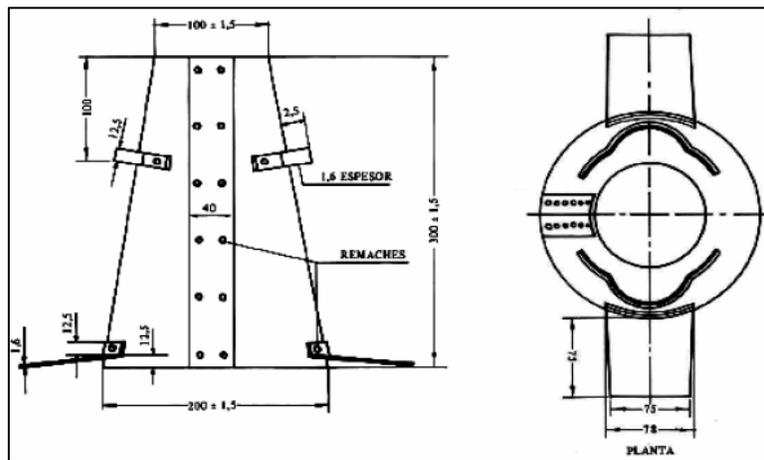


Fig. 1.12 Cono de Revenimiento

Para unas condiciones de trabajo dadas, la evolución de la pérdida de revenimiento también puede resultar influenciada por factores intrínsecos de la mezcla de concreto, tales como la consistencia o fluidez inicial de ésta, la humedad de los agregados, el uso de ciertos aditivos y las características y contenido unitario de cemento.

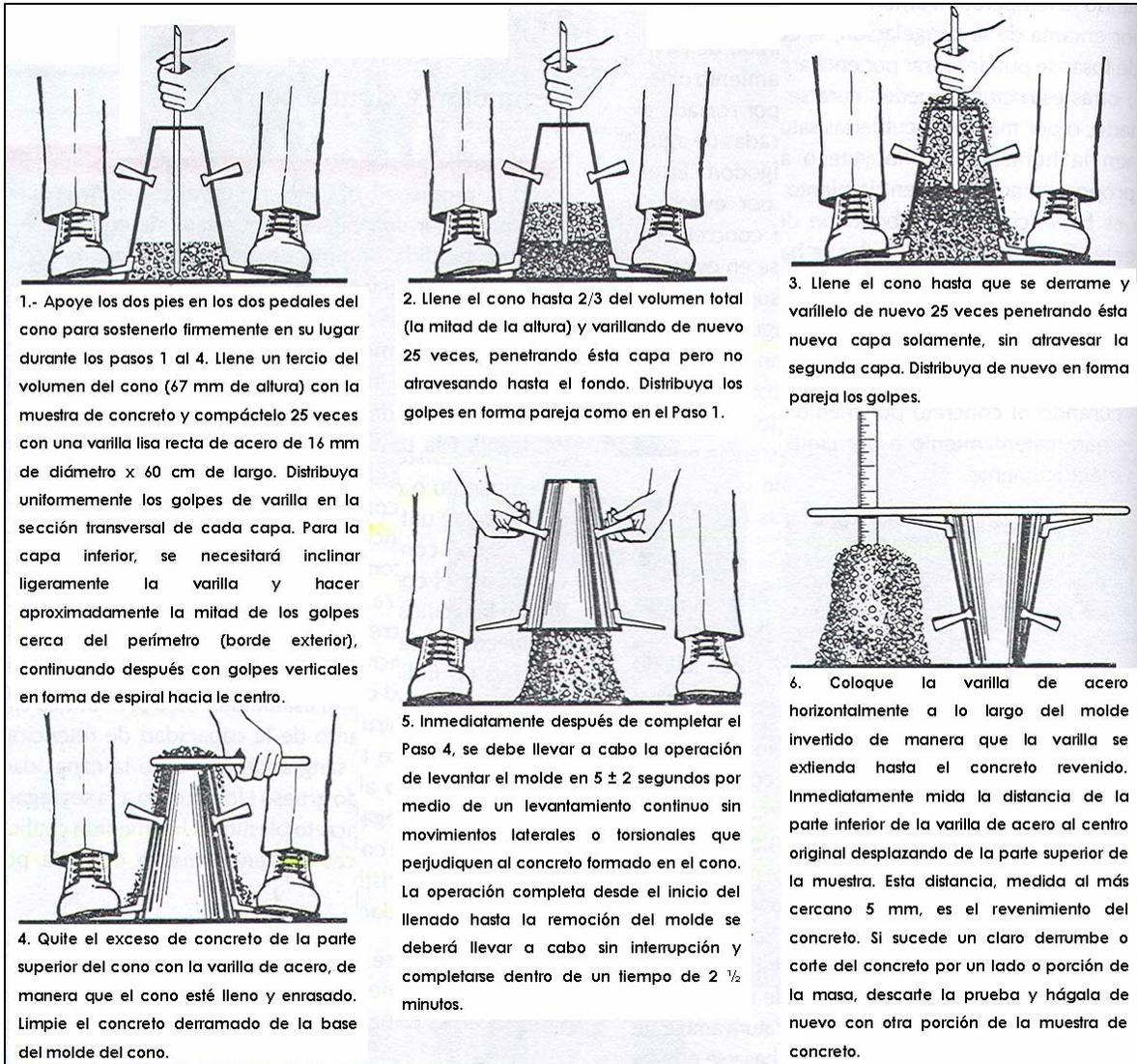


Fig. 1.13 Método para cálculo de Revenimiento

La eventual contribución de estos factores intrínsecos, en el sentido de incrementar la pérdida normal de revenimiento del concreto en el lapso inmediato posterior al mezclado, es como se indica:

1. Las mezclas de consistencia más fluida tienden a perder revenimiento con mayor rapidez, debido a la evaporación del exceso de agua que contienen.
2. El empleo de agregados porosos en condición seca tiende a reducir pronto la consistencia inicial, por efecto de su alta capacidad para absorber agua de la mezcla.
3. El uso de algunos aditivos reductores de agua y superfluidificantes acelera la pérdida de revenimiento, como consecuencia de reacciones indeseables con algunos cementos.

4. El empleo de cementos p rtland-puzolana cuyo componente puzolánico es de naturaleza porosa y se muele muy finamente, puede acelerar notablemente la pérdida de revenimiento del concreto recién mezclado al producirse un resecamiento prematuro provocado por la avidez de agua de la puzolana.
5. El uso de un cemento de fraguado anormal
6. Un tiempo inusualmente largo para la operación de mezclado, transporte, colocación, compactación y acabado.
7. Una alta temperatura en el concreto debida a calor excesivo de hidratación y/o el uso de materiales para la elaboración del concreto que estuvieron almacenados a una alta temperatura ambiente.



Fig. 1.14 Prueba de Revenimiento

Las Normas Técnicas Complementarias (N.T.C. 2004) especifican los siguientes requisitos del concreto fresco:

Requisitos y control del concreto fresco

Al concreto en estado fresco, antes de su colocación en las cimbras, se le harán pruebas para verificar que cumple con los requisitos de revenimiento y peso volumétrico. Estas pruebas se realizarán al concreto muestreado en obra, con las frecuencias de la tabla 14.2 como mínimo.

El revenimiento será el mínimo requerido para que el concreto fluya a través de las barras de refuerzo y para que pueda bombearse en su caso, así como para lograr un aspecto satisfactorio.

Tabla 14.3 Tolerancias para revenimientos

Revenimiento nominal, mm	Tolerancia, mm
menor de 50	± 15
50 a 100	± 25
mayor de 100	± 35

Tabla 14.2 Frecuencia mínima para toma de muestras de concreto fresco

Prueba y método	Concreto clase 1	Concreto clase 2
Revenimiento (NMX-C-156-ONNCCE)	Una vez por cada entrega, si es premezclado.	Una vez por cada entrega, si es premezclado.
	Una vez por cada revoltura, si es hecho en obra.	Una vez por cada 5 revolturas, si es hecho en obra.
Peso volumétrico (NMX-C-162)	Una vez por cada día de colado, pero no menos de una vez por cada 20 m ² de concreto.	Una vez por cada día de colado, pero no menos de una vez por cada 40 m ² .

El Corresponsable en Seguridad Estructural, o el Director Responsable de Obra, cuando no se requiera Corresponsable, podrá autorizar la incorporación del aditivo superfluidificante en la planta de premezclado para cumplir con revenimientos nominales mayores de 120 mm y estará facultado para inspeccionar tal operación en la planta cuando lo juzgue procedente.

Para que el concreto cumpla con el requisito de peso volumétrico en estado fresco o endurecido, su valor determinado deberá ser mayor de 22 kN/m³ (2,200 kg/m³) para el concreto clase 1, y no menor de 19 kN/m³ (1,900 kg/m³) para el concreto clase 2.

1.2.2 ESTABILIDAD Y COMPACIDAD

En la acción de mezclar los ingredientes para la fabricación del concreto se provoca el contacto (cohesión) entre los granos de cemento, agua y agregados, al distribuir uniformemente los componentes. Así se producen dos suspensiones de partículas en diferente escala:

- La suspensión de los granos de cemento en el agua, para constituir la pasta de cemento
- La suspensión de las partículas de los agregados grueso y fino

Cada una de las anteriores suspensiones deberá alcanzar una suficiente integración y uniformidad al final del mezclado, para que la mezcla de concreto resulte homogénea y estable.

Se comprende que una mezcla de concreto se comporta como una suspensión estable, en la medida que se opone a perder su homogeneidad original en el lapso comprendido desde que sale del equipo de mezclado hasta su colocación final en la estructura.

El sangrado (exudación) del concreto es el desarrollo de una lámina de agua en la superficie del concreto recién colocado. Es causada por la sedimentación de las partículas sólidas (cementante y agregados) y simultáneamente el ascenso del agua hacia la superficie.

El sangrado es normal y no debería disminuir la calidad del concreto colocado, acabado y curado correctamente. Éste es útil en el control de la fisuración por contracción plástica, pero si es excesivo aumenta la relación agua/cementante en la superficie por lo que quedará una capa superficial débil y con poca durabilidad.

El uso de agregados de granulometría adecuada, ciertos aditivos químicos, aire incluido, materiales cementantes suplementarios y cementos más finos reducen el sangrado.



Fig. 1.15 Agua de sangrado en la superficie de concreto recién colado en la losa

Se entiende por compacidad del concreto a la capacidad de acomodamiento que tienen las partículas de los ingredientes sólidos que lo componen, y se define como la cantidad de materiales sólidos por unidad de volumen de concreto.

Una alta compacidad, conduce a un alto peso unitario del concreto. Éste, depende en buena medida de la calidad y cantidad de los materiales que integran el concreto, lo cual depende a su vez de la densidad del material.

Si se desea que un concreto sea compacto, denso, homogéneo, resistente y durable, se requerirá de:

- El empleo de un cementante de buena calidad y la aplicación de bajas relaciones agua/cementante.
- El uso de agregados densos, poco porosos y bien graduados.
- Usar un bajo contenido de agua de mezclado, lo que se logra empleando aditivos reductores de agua.
- Un adecuado manejo, colocación y compactación del concreto dentro de la cimbra.
- Un cuidadoso retiro de la cimbra y aplicación correcta del curado después del fraguado final.

El concreto en estado fresco debe someterse a la acción de fuerzas que lo deformen y hagan fluir hasta adquirir la forma del espacio cimbrado, reduciendo al mínimo su porosidad y dando a las superficies en contacto con las cimbras el aspecto y la textura que corresponda al del material con el que éstas sean construidas.

1.3 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

El concreto es un material de múltiples fases, que contiene pasta de cemento (partículas hidratadas), agua, agregados, aditivos. En términos generales, las propiedades mecánicas y físicas de un sistema compuesto dependen de las propiedades de sus componentes y de la interacción mecánica, física y química entre ellos.

La resistencia mecánica que desarrolla el concreto depende de la resistencia individual de los agregados y de la pasta de cemento endurecida, y de la adherencia que se produce entre ambos materiales.

1.3.1 RESISTENCIA DE LOS AGREGADOS Y PASTA DE CEMENTO

Cuando las partículas de los agregados son duras y resistentes, la resistencia mecánica del concreto estará dada por la resistencia de la pasta de cemento y/o por la adherencia de ésta con los agregados. Pero si los agregados son débiles, la resistencia intrínseca de éstos materiales se convierte en una limitante para las altas resistencias mecánicas en el concreto.

La resistencia mecánica de la pasta de cemento es una consecuencia del proceso de hidratación de los granos de cemento.

Se considera que la resistencia mecánica de la pasta endurecida, es gobernada por la influencia de dos variables:

- La cantidad de productos de hidratación generados hasta el momento del ensaye.
- La proporción del espacio disponible (cavidades de agua) que ha sido ocupado por dichos productos de hidratación.

En una pasta con cierto grado de endurecimiento, el agua se encuentra en tres formas:

1. El agua combinada, que forma parte de la composición química de los productos de hidratación, y por tanto no es evaporable.
2. El agua cuyas moléculas se encuentran retenidas por absorción de los poros del gel, cuyo desarrollo superficial favorece la hidratación.
3. El agua que permanece en los espacios libres no ocupados por el gel, en los llamados poros capilares de la pasta endurecida.

La resistencia de la pasta así como la adherencia con los agregados progresan con la hidratación del cemento; existe evidencia de que en el concreto, a edad temprana, la resistencia por adherencia suele ser menor que la resistencia de la pasta y a edades mayores ocurre lo contrario.

Por tanto, con agregados de buena calidad, la resistencia mecánica del concreto a la edad de servicio depende exclusivamente de la resistencia de la pasta.

La modificación del tamaño máximo del agregado se manifiesta por dos efectos en la resistencia mecánica del concreto:

- el aumento del tamaño máximo reduce el requerimiento de agua en la mezcla y tiende a disminuir la relación agua/cementante, por lo que se incrementa la resistencia mecánica.
-

- al aumentar el tamaño de las partículas disminuye la superficie de contacto de los agregados con la pasta, y así se reduce la resistencia por adherencia con los agregados.

Por lo tanto, en los concretos de baja resistencia domina el efecto de la reducción del agua de mezclado, y por consiguiente al aumentar el tamaño máximo del agregado tiende a incrementarse la resistencia del concreto.

Las propiedades mecánicas se clasifican en:

- Propiedades instantáneas o de corta duración
 - Resistencia a compresión (ASTM C-39)
 - Resistencia a tensión (ASTM C-496)
 - Esfuerzo de flexión (ASTM C-78)
 - Módulo de elasticidad y relación de poisson (ASTM C-469).
- Propiedades de larga duración
 - Deformación Diferida (Creep) (ASTM C-512)
 - Contracción por Secado (ASTM C-157)

1.3.2 RESISTENCIA A COMPRESIÓN (f'_c)

La resistencia a compresión es la medida de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Se estima que un concreto a 7 días tendrá 75% de la resistencia a 28 días y a 56 y 90 días se incrementa en 10% y 15%, respectivamente.

La respuesta del concreto a las acciones aplicadas depende no solo del tipo de esfuerzo, sino también de una combinación de varios factores que afecta la interacción de los distintos componentes estructurales del concreto. Estos factores incluyen las propiedades y las proporciones de los materiales que constituyen la mezcla de concreto, el grado de compactación logrado y las condiciones de curado.

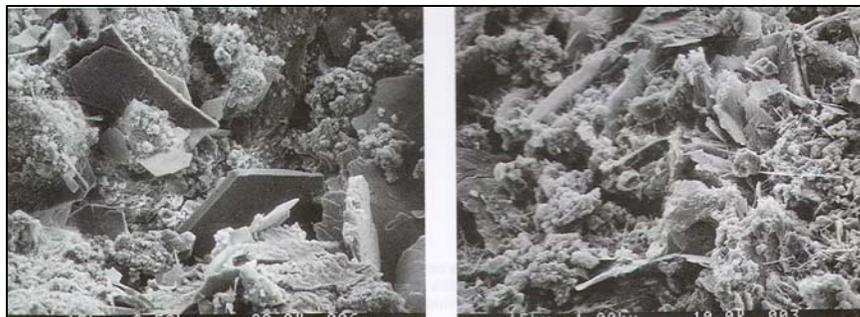


Fig. 1.16 Micrografías electrónicas de barrido de una pasta endurecida de cemento (izquierda) aumento 500X y (derecha) aumento 1000X

Los factores se analizan divididos en los siguientes grupos:

- Características y proporciones de los materiales
 - Relación agua/cementante
 - Inclusión de aire
 - Tipo de cemento
 - Agregado
 - Agua de mezclado
 - Aditivo
- Condiciones de curado
 - Tiempo
 - Humedad
 - Temperatura
- Parámetros de prueba
 - Parámetros de los especímenes
 - Condiciones de carga

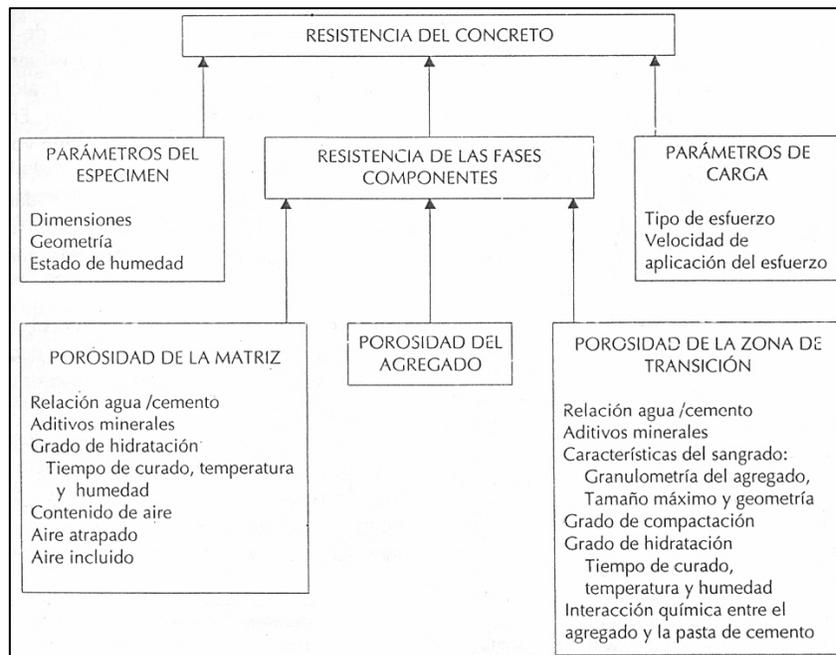


Fig. 1.17 Interrelaciones de los factores que influyen en la resistencia del concreto

Se sabe que aún antes de que cualquier carga sea aplicada, existe un gran número de microgrietas en la zona de transición (región entre la matriz de la pasta de cemento y el agregado grueso).

Las Normas Técnicas Complementarias (N.T.C. 2004) especifican:

Requisitos y control del concreto endurecido

B.1) Resistencia a compresión

Los concretos clase 1 tendrán una resistencia especificada, $f'c$, igual o mayor que 25 MPa (250 kg/cm²). *La resistencia especificada de los concretos clase 2 será inferior a 25 MPa (250 kg/cm²) pero no menor que 20 MPa (200 kg/cm²).* En ambas clases deberá comprobarse que el nivel de resistencia del concreto estructural de toda construcción cumpla con la resistencia especificada. Se admitirá que un concreto cumple con la resistencia especificada si satisface los requisitos prescritos en la sección 14.3.4.1.

La calidad del concreto endurecido se verificará mediante pruebas de resistencia a compresión en cilindros elaborados, curados y probados de acuerdo con las normas NMX-C-160 y NMX-C-83 (ASTM C 192 y C 39), en un laboratorio acreditado por la entidad de acreditación reconocida en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

Para el concreto clase 2, se admitirá que la resistencia del concreto cumple con la resistencia especificada, $f'c$, si ninguna muestra da una resistencia inferior a $f'c-5$ MPa ($f'c-50$ kg/cm²), y, además, si ningún promedio de resistencias de todos los conjuntos de tres muestras consecutivas, pertenecientes o no al mismo día de colado, es menor que $f'c-1.7$ MPa ($f'c-17$ kg/cm²).

El concreto clase 2 representado por los corazones se considerará adecuado si el promedio de las resistencias de los tres corazones es mayor o igual que $0.80f'c$ y la resistencia de ningún corazón es menor que $0.70f'c$.

En muros de concreto reforzado de vivienda de interés social, se admitirá el uso de concreto clase 2 con resistencia especificada de 15 MPa (150 kg/cm²) si se garantizan los recubrimientos mínimos requeridos en 4.9.3.

Tabla 4.1 Clasificaciones de exposición

Superficies y ambiente de exposición	Clasificación de exposición
a) Superficie de miembros en contacto con el terreno:	
1) Protegida por una membrana impermeable	A1
2) En suelos no agresivos	A2
3) En suelos agresivos ¹	D
b) Superficies de miembros en ambientes interiores:	
1) Encerrado totalmente dentro de un edificio, excepto por breve periodo de exposición al ambiente durante la construcción ²	A1
2) En edificios o sus partes donde los miembros pueden estar sujetos a humedecimiento y secado repetido ²	B1
c) Superficies de miembros no en contacto con el terreno y expuestos a ambientes exteriores ³ que son:	
1) No agresivos	A2
2) Ligeramente agresivos	B1

4.9.3 Recubrimiento para protección contra la corrosión

Cuando el concreto es colado en cimbras y compactado de acuerdo con la sección 14.3.6, el recubrimiento en vigas, trabes y contratraves no será menor que el valor dado en la tabla 4.5, de acuerdo con la clasificación de exposición y la resistencia especificada del concreto. En losas, muros y elementos prefabricados el recubrimiento no será menor de 0.75 veces los indicados en la tabla 4.5, según corresponda, y no menor de 0.5 veces los mismos valores para el caso de cascarones.

Tabla 4.5 Recubrimiento libre mínimo requerido

Clasificación de exposición	Resistencia a compresión especificada, MPa (kg/cm ²)							
	15 (150) ⁽¹⁾	20 (200)	25 (250)	30 (300)	40 (400)	50 (500)	60 (600)	70 (700)
	Recubrimiento mínimo requerido (mm)							
A1	30	25	25	20	20	20	15	15
A2	50	40	35	30	25	25	20	20
B1	65	50	40	35	30	30	25	25
B2	—	—	50	45	40	35	30	30
C	—	—	—	—	—	70 ⁽²⁾	65 ⁽²⁾	60 ⁽²⁾

¹ Ver sección 1.4.1.2 "Resistencia a compresión";

² Además se requiere emplear un contenido de cemento portland no menor que 3 500 N/m³ (350 kg/m³) y una relación agua/cemento que no exceda 0.40.

1.3.3 RESISTENCIA A TENSIÓN (f_t)

El concreto endurecido se manifiesta, en pruebas bajo cargas de corta duración, como un material frágil, pues su falla se produce a una deformación unitaria relativamente reducida: entre 100 y 200 millonésimas a tensión y entre 2,000 y 4,000 millonésimas a compresión, según su resistencia de diseño.

La mayoría de los elementos de concreto se diseñan bajo la suposición de que el concreto deberá resistir los esfuerzos a compresión, pero no a los de tensión. Por tanto, los esfuerzos a la tensión no pueden ser ignorados porque el agrietamiento del concreto en muchas ocasiones origina una falla por tensión.

TABLA 1.9 RELACIÓN ENTRE LAS RESISTENCIAS POR COMPRESIÓN, FLEXIÓN Y A LA TENSIÓN DEL CONCRETO

Resistencia del concreto kgf/cm ²			Relación (%)		
Compresión	Módulo de ruptura	Tensión	Módulo de ruptura a la resistencia a la compresión	Resistencia a la tensión a la resistencia a la compresión	Resistencia a la tensión al módulo de ruptura
70	16	8	23	11	50
140	27	14	19	10	52
210	34	19	16	9	55
280	41	25	15	9	61
350	47	28	13	8	60
420	54	32	13	8	61
490	60	37	12	7	61
560	65	41	12	7	63
630	71	44	11	7	62

Fuente: W. H. Price, J. ACI, Proc., Vol. 47, pág. 429, 1951.

NOTA: Para concretos fabricados en el D.F. las relaciones se muestran en el capítulo III.

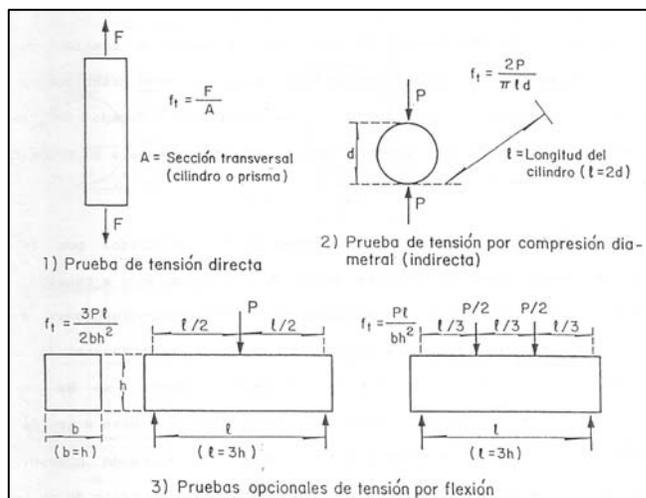


Fig. 1.18 Representación esquemática de los procedimientos usuales para determinar la resistencia a tensión del concreto.

Se ha visto que las relaciones entre varios tipos de resistencias, están influenciadas por factores tales como los métodos por los que se mide la resistencia a la tensión como son:

- Prueba directa de tensión.- por medio del ensaye de especímenes cilíndricos o

prismáticos, sometidos a una fuerza de tensión axial.

- *Prueba de tensión por compresión diametral.*- mediante el ensaye de especímenes cilíndricos sujetos a la aplicación de una carga de compresión diametral.
- *Prueba de tensión por flexión en especímenes prismáticos.*

La influencia de las microfisuras y otras discontinuidades sobre la resistencia de la pasta endurecida toma más relevancia a tensión que a compresión, porque cuando existe una discontinuidad en un material frágil (la pasta) que se halla sometido a tensión, se producen concentraciones de esfuerzos en los bordes de la discontinuidad con una magnitud varias veces superior al esfuerzo medio de tensión que actúa.



Fig. 1.19 Ensaye a Tensión por compresión diametral

Las Normas Técnicas Complementarias (N.T.C. 2004) especifican:

B.2) Resistencia a tensión

Se considera como resistencia media a tensión, t_r , de un concreto el promedio de los esfuerzos resistentes obtenidos a partir de no menos de cinco ensayos en cilindros de 150 X 300 mm cargados diametralmente, ensayados de acuerdo con la norma NMX-C-163.

A falta de información experimental, t_r , se puede estimar igual a:
 b) Concreto clase 2, $0.38 \sqrt{f'_c}$, en MPa ($1.2 \sqrt{f'_c}$, en kg/cm²)

1.3.4 ESFUERZO A FLEXIÓN DEL CONCRETO, (M_R)

En este caso se aplican dos cargas concentradas iguales en los tercios del claro, según la norma (ASTM C-78). En esta condición de carga todo el tercio central del espécimen queda sometido al momento máximo de flexión y al correspondiente esfuerzo máximo de tensión, creando un estado constante de esfuerzo que da oportunidad para que la falla ocurra dentro de este tramo central.

La resistencia a tensión del concreto determinada por flexión, suele manifestar valores más elevados que los obtenidos por tensión directa o indirecta, debido a la distribución no uniforme de esfuerzos en la sección de falla que restringe la propagación de las grietas, a las simplificaciones teóricas que se hacen para el cálculo del esfuerzo máximo, a cuales

se suma el efecto de trabazón entre la pasta de cemento y el agregado grueso, cuando éste se halla constituido por fragmentos, producto de la trituración de roca de buena calidad.

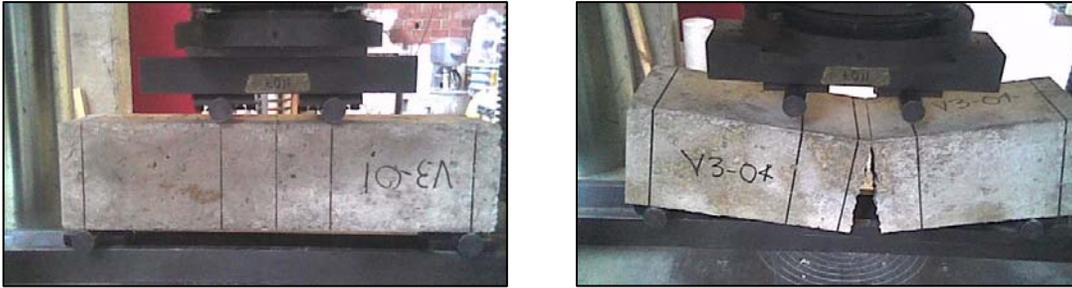


Fig. 1.20 Ensayo a Tensión por Flexión (Módulo de Ruptura)

El ensayo se considera representativo de las condiciones operativas del concreto en las estructuras que trabajan a flexión (pavimentos rígidos), y es una forma apropiada para definir y verificar la resistencia de diseño de estas estructuras.

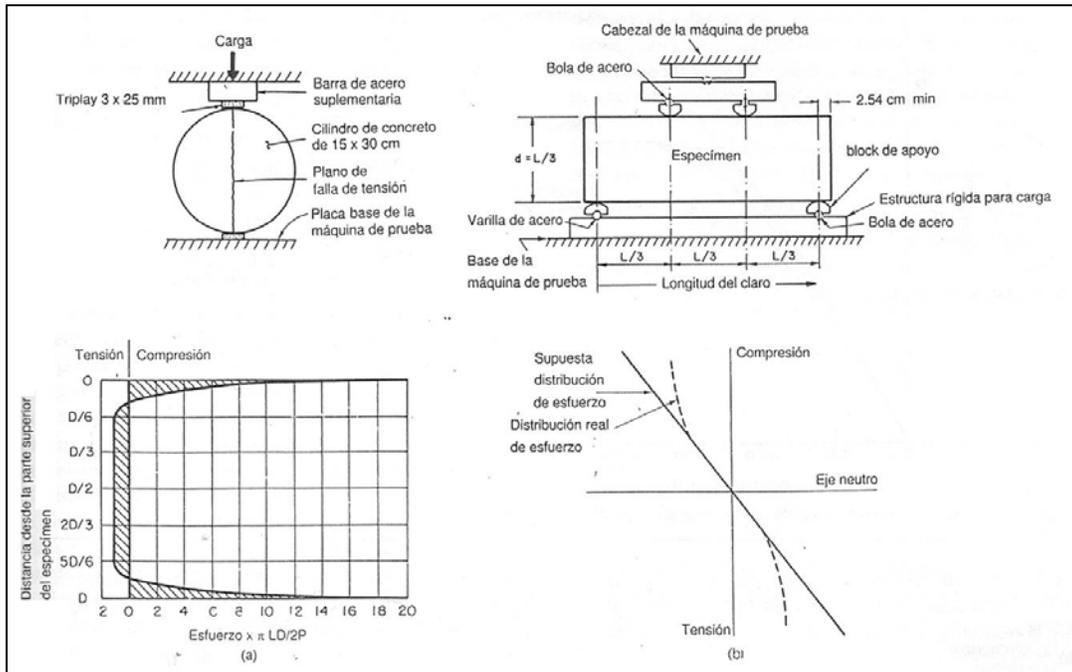


Fig. 1.21 a) Prueba de tensión por compresión diametral: Arriba, arreglo gráfico de la prueba; abajo, distribución del esfuerzo a través del diámetro de un cilindro cargado y comprimido entre dos placas. b) Prueba de flexión con carga en los tercios del claro: arriba, arreglo de la prueba; abajo, distribución del esfuerzo a través del peralte de una viga de concreto bajo flexión.

Las Normas Técnicas Complementarias (N.T.C. 2004) especifican:

La resistencia media a tensión por flexión o módulo de rotura, f_r se puede suponer igual a:

b) Concreto clase 2, $0.44 \sqrt{f'c}$, en MPa ($1.4 \sqrt{f'c}$, en kg/cm^2)

Para diseñar se usará un valor nominal,

b) concreto clase 2, 0.38 en MPa (1.2 en kg/cm^2)

1.3.5 MÓDULO DE ELASTICIDAD (E) Y RELACIÓN DE POISSON (μ)

La rigidez de un material se puede determinar a partir de sus parámetros elásticos. Desde antes de la aplicación de la carga externa *existen ya microgrietas* en la zona de transición entre la matriz del mortero y el agregado grueso en el concreto.

El progreso del microagrietamiento interno en el concreto sigue varias etapas, que dependen del nivel de esfuerzo aplicado.

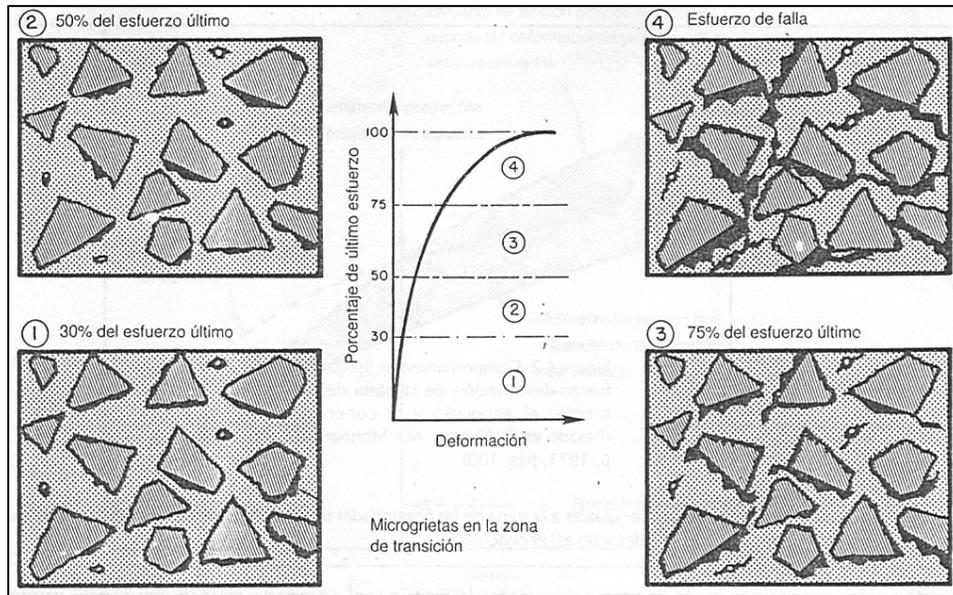


Fig. 1.22 Representación gráfica del comportamiento esfuerzo-deformación del concreto bajo compresión axial.

El módulo de elasticidad estático de un material bajo tensión o compresión, está dado por la pendiente de la curva esfuerzo-deformación (σ - ϵ) del concreto bajo carga axial. Pero, como se observa, la curva para el concreto no es lineal; se emplean tres métodos para calcular el módulo:

- El *módulo tangente* es dado por la pendiente de una línea tangente trazada en la curva (σ - ϵ) en cualquier punto de la curva.
- El *módulo secante* es dado por la pendiente de una línea trazada desde el origen a un punto en la curva, correspondiente a un esfuerzo de 40% de la carga de falla.
- El *módulo cuerda* es dado por la pendiente de una línea trazada entre dos puntos en la curva (σ - ϵ).

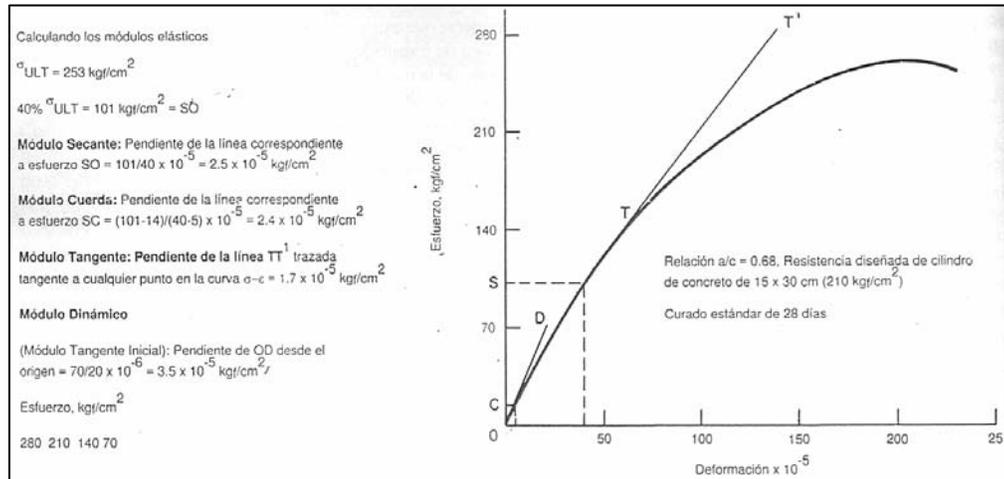


Fig. 1.23 Diferentes tipos de módulos de elasticidad y el método por el cuál son determinados.

El módulo de elasticidad estático (Módulo de cuerda) y relación de Poisson es determinado por la norma ASTM C-469 en cilindros de concreto de 15 x 30 cm cargados a compresión a una velocidad de carga $2.45 \pm 0.35 \text{ kg/cm}^2$ por seg.

Relación de Poisson. Para un material a carga axial simple, la relación de Poisson es la razón de la deformación lateral a la deformación axial dentro del rango elástico. Es importante su obtención para los cálculos de diseño avanzado en concreto; en túneles, arcos de presas, placas planas para pisos, cascarones para cubiertas, losas de cimientos y otras estructuras estáticamente indeterminadas.

Estudios anteriores señalan que la relación de Poisson varía entre 0.15 y 0.20, pero cabe señalar que este valor es más bajo en concreto de alta resistencia y más alto para concretos con alta relación agua/cementante o concreto cargado dinámicamente.

1.3.5.1 FACTORES QUE AFECTAN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD

Como se mencionó anteriormente, en un material como el concreto que es heterogéneo con múltiples fases, la fracción del volumen, la densidad y el módulo de elasticidad de los principales constituyentes y las características de la zona de transición, determinan el comportamiento elástico del compuesto.

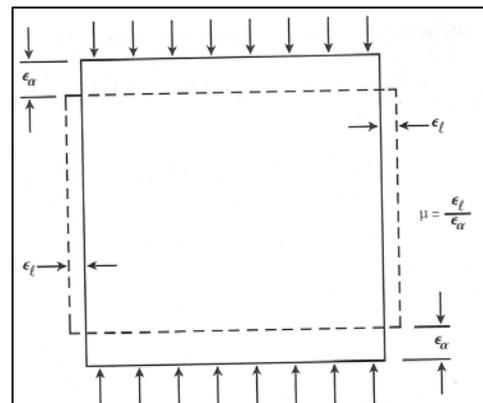


Fig. 1.24 La relación entre deformación unitaria lateral y axial es el coeficiente de Poisson (relación de Poisson), μ

Si la densidad está contrariamente relacionada con la porosidad, entonces los factores que afectan la porosidad son:

- Agregados
 - La porosidad del agregado determina su rigidez y controla la capacidad del agregado para restringir las deformaciones de la matriz.
 - En cuanto mayor sea la cantidad de agregado grueso con módulo de elasticidad alto en la mezcla, mayor será su módulo elástico.
 - También influyen el microagrietamiento de la zona de transición el cual a su vez depende del tamaño máximo, la forma, la textura de la superficie, la granulometría y la composición mineralógica del agregado.
- Matriz de la pasta de cemento
 - Los factores que controlan la porosidad de la matriz de pasta de cemento son: la relación agua/cemento, el contenido de aire, los aditivos minerales y el grado de hidratación del cemento.
- Zona de transición
 - Los espacios vacíos, las microgrietas y los cristales orientados de hidróxido de calcio son los que controlan a ésta.

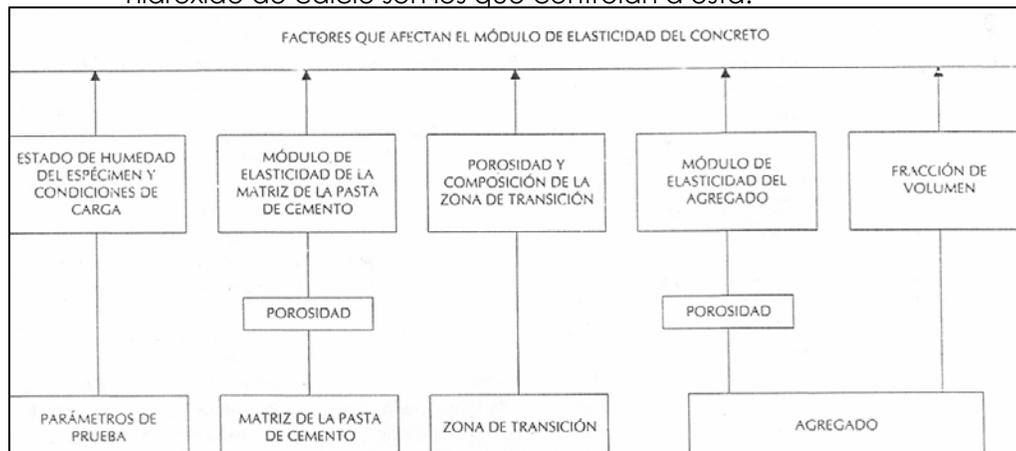


Fig. 1.25 Varios parámetros que influyen en el módulo de elasticidad del concreto

La resistencia a la compresión se incrementa cuando la matriz aumenta su resistencia; sin embargo, el incremento en el módulo de elasticidad es reducido porque el incremento en el microagrietamiento de la zona de transición afecta el comportamiento de la relación esfuerzo/deformación.

En una pasta de cemento saturada, el agua absorbida en el hidrato de silicato de calcio (H-S-C) es soportante de carga, por lo tanto su presencia contribuye al módulo de elasticidad; por otra parte, la presión de separación en el H-S-C tiende a reducir la fuerza de atracción de Van der Waals, disminuyendo así la resistencia.

Hidrato de silicato de calcio (H-S-C) es una de las cuatro fases sólidas presentes en una pasta de cemento hidratada (pch) que representa entre el 50% y 60% del volumen de sólidos.

La fuerza de atracción de Van der Waals es la causa de la adhesión entre los productos de la hidratación y las partículas de agregado; por lo tanto, la resistencia de la zona de transición en cualquier punto, depende del volumen y del tamaño de los huecos presentes.

Las Normas Técnicas Complementarias (N.T.C. 2004) especifican:

B.3) Módulo de elasticidad

Para concretos clase 2 se supondrán igual a $2,500 \sqrt{f'c}$, en MPa ($8,000 \sqrt{f'c}$, en kg/cm^2)

En problemas de revisión estructural de construcciones existentes, puede aplicarse el módulo de elasticidad determinado en corazones de concreto extraídos de la estructura, que formen una muestra representativa de ella.

En todos los casos a que se refiere este párrafo, E_c se determinará según la norma NMX-C-128.

1.3.6 CAMBIOS VOLUMÉTRICOS

El cambio de volumen se define como un incremento o disminución del volumen. El concreto endurecido se expande con el aumento de la humedad y se contrae con la pérdida de la misma.

1.3.6.1 CONTRACCIÓN POR SECADO (ϵ_u)

Por lo anterior expuesto se hace referencia a una ejemplificación de los efectos de ciclos de humedad y secado.

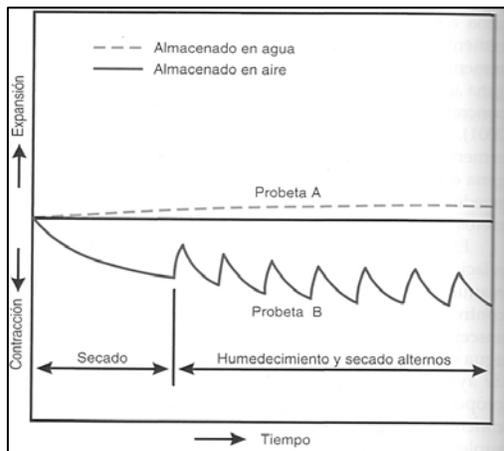


Fig. 1.26 Ilustración esquemática de los movimientos de la humedad en el concreto. Si se conserva el concreto constantemente húmedo, ocurre una pequeña expansión. Sin embargo, normalmente también ocurre el secado, causando contracción. Humedecimiento y secado adicionales causan ciclos alternados de expansión y contracción.

La probeta A representa el concreto almacenado constantemente en agua desde su colocación. La probeta B representa el mismo concreto expuesto primeramente al secado al aire y después en ciclos alternados de humedecimiento y secado,⁶

Ensayos realizados indican que la contracción por secado de probetas de concreto simple varía de 400 a 800 millonésimos, cuando son expuestas al aire a una humedad de 50%.

El concreto se contrae y expande con cada cambio de contenido de humedad debido a las respuestas de la pasta de cemento a estos cambios.

⁶ Ibid. Pág. 4

Tanto la deformación de contracción por secado como por el flujo plástico en el concreto, se suponen están relacionadas con la remoción de agua absorbida de la pasta de cemento hidratada.

El efecto controlable que afecta importantemente a la contracción por secado es *la cantidad de agua de mezclado por unidad de volumen de concreto*. En la figura 1.27 se observa la minimización de la contracción manteniendo el contenido de agua al mínimo.

No todos los cementos o materiales cementantes tienen contracción similar. Los materiales cementantes suplementarios en cantidades normales tienen poco efecto sobre la contracción. Como se presenta en la figura 1.28 los concretos con cantidades normales de cenizas volantes tuvieron un desempeño similar al concreto de control, producido sólo con cemento pórtland como material cementante.⁷

Los agregados gruesos restringen físicamente la contracción de la pasta de cemento en hidratación. El contenido de la pasta afecta la contracción por secado de los morteros más que la de los concretos.

Los aditivos químicos tienen poca influencia sobre la contracción, pero el uso de aceleradores, como el cloruro de calcio, aumenta la contracción por secado del concreto. Algunos aditivos reductores de agua, a pesar de que disminuyen el contenido de agua aumentan la contracción por secado; tanto los aditivos reductores de agua de alto rango como los inclusores de aire tienen poco efecto en la contracción (figura 1.29).

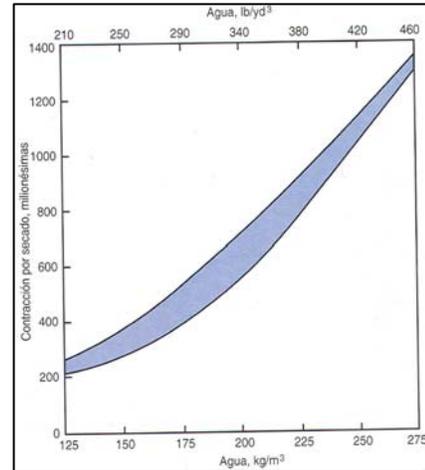


Fig. 1.27 Relación entre el contenido total de agua y la contracción por secado. El área sombreada representa un gran número de mezclas con varias proporciones. La contracción por secado aumenta con el incremento del contenido de agua.

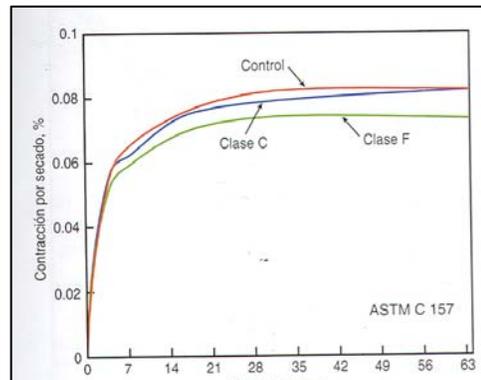


Fig. 1.28 Contracción por secado de concretos con ceniza volante comparada con una mezcla de control. Se representa el promedio de cuatro cenizas volantes clase C y seis cenizas clase F, con la contracción por secado superando 0.01%. La cantidad de ceniza volante fue de 25% del material cementante.

⁷ Ibid. Pág. 4

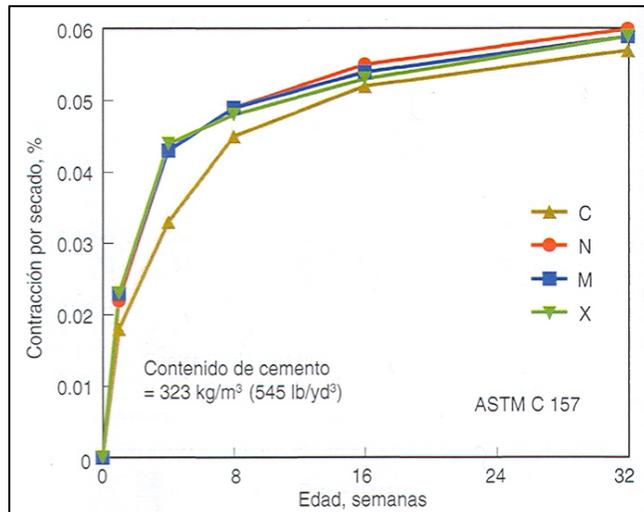


Fig. 1.29 Contracción por secado de concretos, producidos con reductores de agua de alto rango seleccionados (N, M y X), comparados con una mezcla de concreto normal de control.⁷

Las Normas Técnicas Complementarias (N.T.C. 2004) especifican:

B.4) Contracción por secado

Para concretos clase 1, la contracción por secado final, ϵ_{cf} , se supondrá igual a 0.001 y para concreto clase 2 se tomará igual a 0.002.

1.3.6.2 DEFORMACIÓN DIFERIDA (C_u)

El concreto sufre cambios volumétricos en su vida útil de servicio. Bajo la aplicación de un esfuerzo constante, el concreto experimenta una deformación elástica instantánea y una deformación inelástica lenta llamada flujo plástico o creep.

El flujo plástico del concreto se tiene por dos componentes: flujo básico o deformación bajo carga sin la pérdida de humedad y flujo plástico seco o deformación bajo condición seca. La deformación del concreto en ausencia de carga aplicada es llamada contracción.

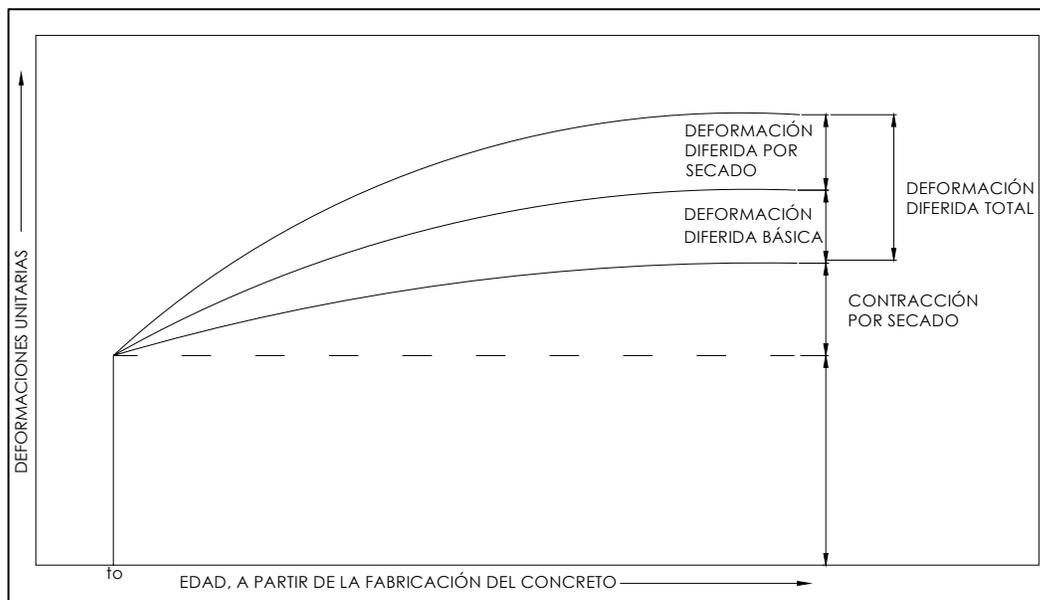


Fig. 1.30 Componentes de deformación y tiempo (t) de concreto al secado sujeto a carga en tiempo, t_0 . - 34 -

La deformación debida al flujo plástico es atribuida al movimiento del agua entre las diferentes fases del concreto.

Cuando se aplica una carga externa, cambia las fuerzas de atracción entre las partículas del gel de cemento; este cambio en las fuerzas causa un desequilibrio en la atracción y uniones de las fuerzas.

El ensaye de flujo plástico o creep en el concreto puede ser realizado en especímenes sellados en cámara seca o especímenes sin sellar. La deformación en especímenes sellados-cargados es el resultado de la deformación elástica, el movimiento del agua en los poros del gel a los poros capilares y la contracción autógena.

Mientras que, la deformación en especímenes cargados sin sellar es el resultado del movimiento interno de la humedad, de la pérdida de humedad, la contracción autógena, y de contracción por carbonatación.

Así, la diferencia en deformaciones entre especímenes cargados, menos la deformación especímenes descargados, son el flujo plástico básico, que es el resultado del movimiento interno de la humedad.

El flujo plástico del concreto es evaluado normalmente empleando especímenes cargados sin sellar, cargado y descargado; con un espécimen de testigo secado a medio ambiente. Así la deformación total se puede separar en la compresión elástica, creep básico y creep en seco (la pérdida de humedad, la contracción autógena y de carbonatación).

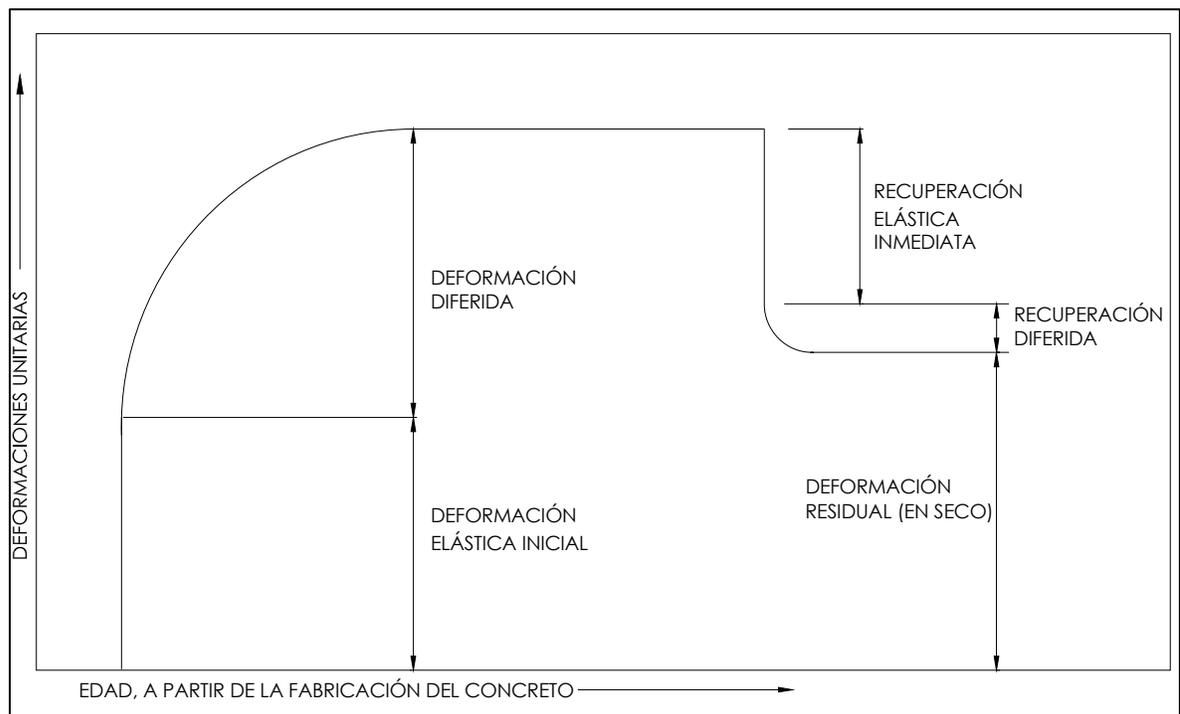


Fig. 1.31 Recuperación elástica inmediata y diferida en cambios de esfuerzo.

El flujo plástico es en parte un fenómeno recuperable. Cuando está con carga sostenida y ésta es removida después de algún tiempo, tiene una recuperación inmediata elástica (generalmente es más pequeña que la inicial porque el módulo elástico se incrementa), seguido por un decremento gradual de deformación, llamado *flujo plástico recuperado*.

1.3.6.2.1 FACTORES QUE INFLUYEN LA DEFORMACIÓN DIFERIDA

Los movimientos de humedad en la pasta de cemento hidratada, que esencialmente controlan las deformaciones del flujo en el concreto tienen su origen en los siguientes factores:

- La fuente principal de las deformaciones relacionadas con la humedad en el concreto es la pasta de cemento hidratada.
- La granulometría, el tamaño máximo, la forma y la textura del agregado
- Las variaciones en la finura y composición del cemento pòrtland que afectan la velocidad de hidratación.
- Los aditivos del concreto, tales como el cloruro de calcio, la escoria granulada y las puzolanas, tienden a incrementar el volumen de poros finos en el producto de hidratación del cemento.
- Los aditivos reductores de agua y retardantes de fraguado, que son capaces de efectuar una mayor dispersión de las partículas del cemento anhidro en el agua, también conducen a la reducción de poros en el producto de hidratación.

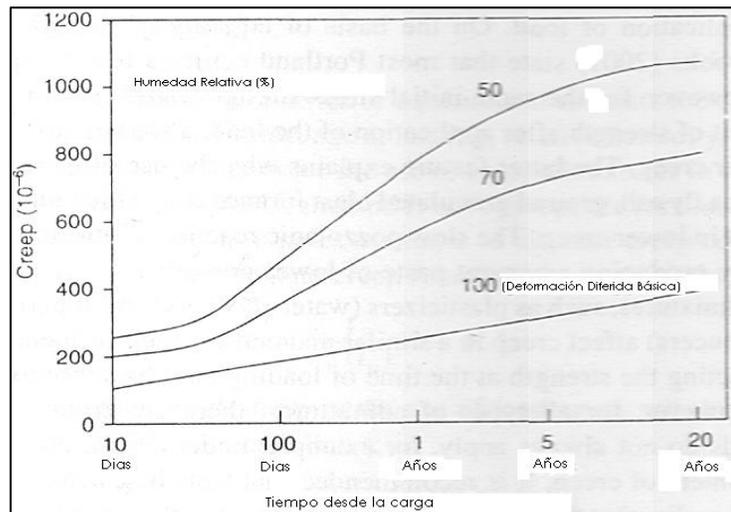


Fig. 1.32 Influencia de la humedad relativa en el flujo plástico del concreto.

Las Normas Técnicas Complementarias (N.T.C. 2004) especifican:

B.5) Deformación diferida

Para concreto clase 1, el coeficiente de deformación axial diferida final,

$$C_f = \frac{\delta_f - \delta_i}{\delta_i}$$

se supondrá igual a 2.4 y para concreto clase 2 se supondrá igual a 5.0. Las cantidades δ_f y δ_i son las deformaciones axiales final e inmediata, respectivamente.

1.3.7 RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA PERMEABILIDAD DE LOS CLORUROS

El ACI define la durabilidad del concreto de cemento Pórtland, como la habilidad para resistir la acción del intemperismo, el ataque químico, la abrasión, o cualquier otro proceso o condición de servicio de las estructuras.

1.3.7.1 FACTORES QUE AFECTAN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO

Los factores que afectan la durabilidad del concreto, son aquellos que producen el deterioro del mismo.

Estos factores se clasifican en 5 grupos:

- 1) Congelamiento y deshielo
- 2) Ambiente químicamente agresivo
- 3) Abrasión
- 4) Corrosión de metales en el concreto
- 5) Reacciones químicas en los agregados.

La permeabilidad se refiere a la cantidad de movimiento de agua, aire y otras a través del concreto. La permeabilidad total del concreto al agua es una función de la permeabilidad de la pasta, de la permeabilidad y granulometría del agregado, y de la proporción relativa de la pasta con respecto al agregado.

La disminución de la permeabilidad mejora la resistencia al ataque de sulfatos, u otros productos químicos, y a la penetración del ión cloruro.

Una forma de medir la permeabilidad del concreto a los cloruros es con base en la cantidad de corriente eléctrica que pasa por el material cuando este se sumerge en un medio electrolítico (cloruro de sodio e hidróxido de sodio) y se aplica una diferencia de potencial entre sus caras. Así, de acuerdo con la norma ASTM C-1202, la permeabilidad a cloruros se expresa indirectamente en Coulombs.

A medida que disminuye la relación agua/cementante baja el grado de permeabilidad a los cloruros. Esto se debe a que la resistencia a la compresión está ligada a la permeabilidad del material.

En la siguiente tabla 1.10 se puede observar las propiedades de 6 mezclas de concreto con variación de relación A/C ensayados a 90 días, cabe destacar el ensaye rápido de penetración de cloruros.

TABLA 1.10 PERMEABILIDAD Y ABSORCIÓN DE CONCRETOS SUJETOS AL CURADO HÚMEDO POR 7 DÍAS Y ENSAYADOS DESPUÉS DE 90 DÍAS⁸.

Mezcla No.	Cemento, kg/m ³ (lb/pies ³)	Agua/material cementante	Resistencia a compresión a los 90 días, kg/cm ² [MPa] (lb/pulg ²)	Permeabilidad			Porosidad, %†	Volumen de vacíos permeables, %	Absorción después de la inmersión	Absorción después de la inmersión y del hervido, %	
				Ensayo rápido de Penetración cloruros, Coulombs	Encharque, % Cl	Agua, m/s**					Aire, m/s**
			ASTM C 39 (AASHTO T 22)	ASTM C 1202 (AASHTO T 277)	AASHTO T 259	API RP27	API RP 27	ASTM C 642	ASTM C 642	ASTM C 642	
1	445 (750)	0.26*	1061 [104.1] (15,100)	65	0.013	—	2.81 x 10 ⁻¹⁰	7.5	6.2	2.43	2.56
2	445 (750)	0.29*	783 [76.7] (11,130)	852	0.022	—	3.19 x 10 ⁻¹⁰	8.8	8.0	3.13	3.27
3	381 (642)	0.40*	470 [46.1] (6690)	3242	0.058	2.61 x 10 ⁻¹³	1.16 x 10 ⁻⁹	11.3	12.2	4.96	5.19
4	327 (550)	0.50	390 [38.2] (5540)	4315	0.076	1.94 x 10 ⁻¹²	1.65 x 10 ⁻⁹	12.5	12.7	5.45	5.56
5	297 (500)	0.60	398 [39.0] (5660)	4526	0.077	2.23 x 10 ⁻¹²	1.45 x 10 ⁻⁹	12.7	12.5	5.37	5.49
6	245 (413)	0.75	290 [28.4] (4120)	5915	0.085	8.32 x 10 ⁻¹²	1.45 x 10 ⁻⁹	13.0	13.3	5.81	5.90

* Aditivos: 59.4 kg/m³ (100 lb/yarda³) de humo de sílice y 25.4 ml/kg de cemento (30 onza/ cwt) de reductor de agua de alto rango (mezcla 1); 13.0 ml/kg de cemento (20 onza/ cwt) de reductor de agua de alto rango (mezcla 2); 2.2 ml/kg de cemento (3.4 onza/ cwt) de reductor de agua de alto rango (mezcla 3)
 ** Para convertir de m/s para Darcy, multiplique por 1.03 x 10⁵, de m/s para m², multiplique por 1.02 x 10⁻⁷
 † Medido con el porosímetro de helio
 Adaptado de Whiting (1988)

Las Normas Técnicas Complementarias (N.T.C. 2004) especifican:

4.8.1 Restricciones sobre el ión cloruro para protección contra la corrosión

El contenido total del ión cloruro en el concreto, calculado o determinado, basado en la mediciones del contenido de cloruros provenientes de los agregados, del agua de mezclado y de aditivos no excederá los valores dado en la tabla 4.4.

Tabla 4.4 Valores máximos de contenido de ion cloruro en el concreto al momento del colado

Tipo de miembro	Máximo contenido de ion cloruro soluble en ácido, kg/m ³ de concreto
Concreto presforzado	0.50
Concreto reforzado expuesto a humedad o a cloruros en condiciones de servicio	0.80
Concreto reforzado que estará seco o protegido de la humedad en condiciones de servicio	1.6

Cuando se hacen pruebas para determinar el contenido de iones de cloruro solubles en ácido, los procedimientos de ensayes se harán de acuerdo con ASTM C-1152. No se adicionarán al concreto cloruros o aditivos químicos que los contengan en forma importante en elementos de concreto reforzado para clasificaciones de exposición B1, B2, o C, y en ningún elemento de concreto presforzado o curado a vapor.

⁸ Ibid. Pág. 4

1.3.7.2 CLORUROS SOLUBLES EN AGUA Y EN ÁCIDO

Los iones de cloro, como se comentó anteriormente, atacan la capa de óxido protector que se forma sobre el acero resultante de la alcalinidad (pH mayor que 12.5) presente en el concreto.

Los cloruros se introducen en el concreto con los materiales de la mezcla –aditivos, agregados, materiales cementantes y agua de mezclado- o a través de exposición al agua de mar o aire proveniente de este. Una alta concentración de sólidos disueltos en el agua natural se debe al alto contenido de cloruro de sodio o sulfato de calcio.

El nivel de cloruros solubles en ácido, con el cual la corrosión empieza en el concreto, es de aproximadamente 0.2% a 0.4% en peso del cemento (0.15% al 0.3% soluble en agua). Del total del contenido de iones de cloruro en el concreto, sólo aproximadamente del 50% al 85% es soluble en agua y el restante se combina químicamente en las reacciones del cemento.

El contenido de cloruros solubles en ácido y cloruros solubles en agua se puede determinar con el uso de ASTM C-1152 y C-1218, respectivamente.

Un límite aceptable depende del tipo de estructura y del medio al cual esté expuesto durante su vida de servicio.

TABLA 1.11 COMPARATIVA DE LA CANTIDAD DE CONTENIDO DE IÓN CLORURO EN UNA MEZCLA DE CONCRETO

Concepto	SOLUBLES EN AGUA	SOLUBLES EN ÁCIDO	CANTIDAD DE IONES DE CLORURO EN CONCRETOS CON 200 KG DE CEMENTO/M ³		
	Parámetro ACI (% en peso de cemento)	Parámetro N.T.C. (kg/m ³)	ACI (kg)	N.T.C. (kg)	Si del 50% al 85% es soluble en agua N.T.C. (kg)
Concreto pretensado	0.06%	0.50	0.12	0.50	0.25 – 0.43
Concreto reforzado expuesto a cloruros durante su vida	0.15%	0.80	0.30	0.80	0.40 – 0.68
Concreto reforzado que va a ser mantenido seco y protegido de la humedad durante su vida	1.00%	1.60	2.00	1.60	0.80 – 1.36
Otras construcciones en concreto reforzado	0.30%	N/A	0.60	N/A	N/A

Lo anterior es una ejemplificación que pretende clarificar que al emplearse determinado tipo de ensaye ya sea ASTM C-1152 y C-1218 variarán los resultados pero manteniendo cierta congruencia entre ambas.

CONCLUSIONES.

- En el primer capítulo se presenta la necesidad de vivienda, desde nuestros antepasados hasta nuestros días, buscando la comodidad y la protección de nuestra especie.
 - Se menciona el origen de los principales componentes del concreto (cemento, agregados pétreos, aditivos y agua) desde su explotación y producción hasta su clasificación y características particulares.
 - Se analizan las propiedades físicas del concreto en estado fresco, las cuales, sin un control de calidad adecuado afectan el desarrollo de las propiedades del concreto en estado endurecido.
 - El estudio del concreto en estado endurecido se enfoca principalmente a la resistencia de los agregados y de la pasta de cemento que, en concretos de baja resistencia, ésta última influye en mayor medida a la resistencia mecánica.
 - También se describen, con base en normas ASTM, los ensayos de resistencia a compresión, flexión, tensión, módulo de elasticidad, relación de Poisson, cambios volumétricos y resistencia del concreto a la permeabilidad de cloruros, con la finalidad de enmarcar el estudio en cuanto a las propiedades físicas y mecánicas del concreto.
 - Cabe mencionar que el ensaye de resistencia del concreto a la permeabilidad de cloruros (ASTM C-1202) es importante en proyectos de vivienda de interés social en donde se emplea concreto de baja resistencia y el recubrimiento del acero de refuerzo no es generoso.
-

CAPITULO 2.

PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se mencionará y analizará el procedimiento de dosificación de la mezcla, ya sea muestreada en campo como diseñada en laboratorio, con el fin de esclarecer el proceso de determinación de las cantidades de los ingredientes del concreto de baja resistencia ($150 \text{ kg/cm}^2 - 200 \text{ kg/cm}^2$).

El concreto de diseño deberá tener las siguientes características:

- Trabajabilidad aceptable del concreto en estado fresco
- Durabilidad, resistencia y apariencia uniforme del concreto endurecido
- Economía, debido que es empleado en viviendas de interés social

El proporcionamiento se hizo según se describe en el Informe ACI 211.1 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavy Weight and Mass Concrete, (Práctica Estándar de Elección de las Proporciones para el Concreto Normal, de Densidad Elevada y Masivo).

En el laboratorio se trabajó con tres proporcionamientos: uno se tomó de la planta de concreto en la obra y dos se diseñaron en laboratorio; una mezcla con agregados fino y grueso andesíticos y la otra con agregado fino andesítico y grueso calizo. De esta manera se obtuvieron datos comparativos de las tres muestras.

2.1 CONSIDERACIONES GENERALES

El objetivo principal del proporcionamiento de una mezcla de concreto es el seleccionar los materiales adecuados entre los disponibles y determinar la combinación de ellos para alcanzar ciertas características mínimas en el comportamiento del concreto.

Las consideraciones de costo, trabajabilidad, resistencia y durabilidad del concreto son importantes, de acuerdo con lo que se menciona a continuación:

- **Costo.**- Esto se refleja si un material está disponible en dos o más fuentes y existe una diferencia significativa en el precio, la fuente menos costosa de abastecimiento es la seleccionada. Es importante en cuestión del agregado, ya que ocupa del 66% al 75% del volumen del concreto, y del cemento, por ser el material de mayor costo.
 - **Trabajabilidad.**- Determinará la facilidad con la que una mezcla de concreto puede ser manejada sin que tenga segregación dañina.
-

- **Resistencia y Durabilidad.**- Puesto que la durabilidad del concreto está controlada principalmente por la permeabilidad, no es difícil comprender porque hay una relación directa entre la resistencia y la durabilidad.

La resistencia y la permeabilidad de la pasta de cemento hidratada, están íntimamente relacionadas a través de la porosidad capilar que es controlada por la relación agua/cemento y por el grado de hidratación.

En operaciones rutinarias de diseño de la mezcla se hace hincapié en la trabajabilidad y la resistencia; la consideración de la durabilidad se ignora, a menos que la exposición a ambientes especiales lo requiera.

Cuando las consideraciones de resistencia o de durabilidad requieren una relación agua/cemento baja, esto se logra no incrementando el contenido de cemento sino disminuyendo la demanda de agua y empleando aditivos plastificantes.

2.1.1 SELECCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA

Aquí se determinan las características deseadas considerando el uso que se propone dar al concreto, las condiciones de exposición, el tamaño y forma de los elementos y las propiedades físicas del concreto requeridas para la estructura.

Por lo que concierne a este estudio, el concreto diseñado es para uso habitacional en viviendas de interés social, el cual es importante que tenga como características:

- Resistencia baja de 150 kg/cm² a 200 kg/cm² a 28 días
- Revenimiento de 15 a 20 cm
- Homogeneidad adecuada, sin segregación
- Probabilidad de falla de 2/10

2.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE ACUERDO CON ACI 211.1

Dos características de los agregados tienen una influencia en el proporcionamiento (dosificación) de las mezclas de concreto porque afectan la trabajabilidad del concreto fresco:

- Granulometría (tamaño y distribución de las partículas)
- Naturaleza de las partículas (forma, porosidad, textura superficial)

Los diseños y dosificaciones para la fabricación de los concretos se ilustran en los apéndices:

Apéndice 2. Diseño y dosificación de concreto de baja resistencia

2.1 Diseño de concreto con materiales andesíticos con relación A/C: 0.756 del 24/Oct/05.

2.2 Diseño de concreto con relación A/C: 0.927 del 10/Nov/05, con agregado grueso de calizas y agregado fino de andesita.

2.3 Diseño de concreto con relación A/C: 0.912 del 15/Nov/05, con agregado grueso y fino andesíticos.

Cabe mencionar que se realizaron 3 diseños, de los cuales se enfoca el interés en los del 10/Nov/05 y 15/Nov/05 debido a que el del 24/Oct/05 excedió la resistencia de diseño que se requería para el estudio; sin embargo, se le dio seguimiento para observar su comportamiento.

Los agregados empleados en las mezclas de concreto fabricadas en laboratorio son los mismos que los empleados en obra; su estudio en laboratorio condujo a las siguientes características mostradas.

TABLA 2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE AGREGADOS

AGREGADOS						
Tipo de Agregado	Agregado Fino			Agregado Grueso		
	Andesita	Andesita Tolva II UNAM	Andesita	Andesita	Caliza	Andesita
Fecha de Fabricación del concreto	24-Oct-05	10-Nov-05	15-Nov-05	24-Oct-05	10-Nov-05	15-Nov-05
Módulo de Finura	2.803	2.644	2.895	4.899	4.146	4.759
Densidad (gr/cm ³)	2.336	2.364	2.367	2.378	2.67	2.326
Absorción (%)	7.35%	6.65%	6.25%	3.68%	0.89%	5.48%
Humedad (%)	5.06%	9.82%	3.34%	1.04%	0.12%	1.02%
Pasa malla #200 (%)	18.64%	19.11%	17.71%	-	-	-
P.V.S.S. (kg/m ³)	1,497.33	1,423.03	1,523.03	1,235.41	1,425.50	1,217.28
P.V.S.C. (kg/m ³)	1,639.42	1,669.46	1,653.05	1,317.57	1,485.80	1,303.87

En la tabla 2.2 se muestran las cantidades de los componentes de las mezclas:

TABLA 2.2 MATERIALES PARA LA DOSIFICACIÓN DE CONCRETOS DE BAJA RESISTENCIA

	MEZCLA 1 (17/AGO/05)	MEZCLA 2 (30/AGO/05)	MEZCLA 3 (22/SEP/05)	MEZCLA 4 (24/OCT/05)	MEZCLA 6 (15/NOV/05)	MEZCLA 5 (10/NOV/05)
DOSIFICACIÓN Unidades por m³						
Cemento Portland CPC 40 (Kg)	211.00	176.00	207.00	243.95	202.35	202.35
Agregado Grueso (Mezcla 1,2,3,4 y 6 andesítico, mezcla 5 calizo: 19 mm, 3/4"), Kg	830.00	905.00	835.00	816.89	808.40	921.19
Agregado Fino (Andesítico), Kg	890.00	855.00	860.00	875.14	804.28	843.33
Agua (ℓ)	171.00	163.00	170.00	224.44	242.62	164.08
Aditivo Plastificante • ASTM C 494 Tipo A y Tipo D (Mca.WRDA 64), ml	844.00	704.00	828.00	713.54	591.86	591.86
Aditivo Plastificante de Rango Medio • ASTM C 494, (Tipo A Mca.DARACEM 55), ml	844.00	880.00	1,035.00	951.39	789.15	789.15
Relación A/C	0.810	0.926	0.821	0.756	0.912	0.927
Relación grava/arena comprendida 50/50 a 62/38	48	51	49	48	50	52
	52	49	51	52	50	48

2.2.1 DISEÑO POR ACI 211.1

Entre los procedimientos de diseño de las mezclas de concreto que se presentan en el Informe del Comité ACI 211.1. Práctica Estándar de Elección de las Proporciones para el Concreto Normal, de Densidad Elevada y Masivo (Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavy Weight and Mass Concrete), se tomó el *método de volumen absoluto* ya que se considera más adecuado, para lo cual se debieron encontrar la densidad de los materiales componentes.⁹

Se enumeran los pasos que se siguieron para el cálculo:

- 1.- Análisis granulométrico para agregados fino y grueso; módulo de finura
- 2.- Peso unitario varillado seco del agregado grueso
- 3.- Densidad de los materiales
- 4.- Capacidad de absorción, y humedad libre en el agregado
- 5.- Requerimiento aproximado de agua para la mezcla, de acuerdo con el revenimiento, contenido de aire y graduación de los agregados disponibles
- 6.- Relaciones entre resistencia y la relación agua/cementante para combinaciones disponibles de cementante y agregado

A continuación se enumeran los pasos a seguir para el cálculo de la dosificación de los materiales componentes en kilogramos por metro cúbico de concreto:

1.- Selección de revenimiento. Si las especificaciones de construcción lo marcan, se toma el indicado, o en su caso, se selecciona un valor apropiado para la fabricación de acuerdo con la tabla 2.3. Se deberán usar mezclas de consistencia poco fluida para colocarla y compactarla sin segregación.

TABLA 2.3 REVENIMIENTO RECOMENDADO PARA VARIOS TIPOS DE CONSTRUCCIÓN.

Tipos de construcción	Revenimiento (cm)	
	Máximo ^a	Mínimo
Cimentaciones reforzadas, muros y zapatas	7.5	2.5
Zapatas simples, estribos y muros de subestructura	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados	10	2.5
Columnas de edificios	10	2.5
Pavimentos y losas	7.5	2.5
Concreto masivo	7.5	2.5

⁹ METHA, Kumar, MONTEIRO Paulo, *Concreto, estructura, propiedades y materiales*, 1ra. Edición, Ed. IMCYC, México, 1998, 381 Pág.

2.-Selección del tamaño máximo del agregado. Es conveniente utilizar el tamaño máximo de agregado, con granulometría adecuada ya que producirá menos espacios vacíos que los alcanzados al usar uno de tamaño menor; esto tendrá el efecto de disminuir el requerimiento de mortero para una unidad de volumen de concreto.

Sin embargo, se debe cumplir con la condición de que el tamaño máximo en ningún caso *deberá exceder un quinto de la dimensión más angosta entre los lados de las cimbras, un tercio del peralte de las losas o tres cuartos del espacio libre mínimo entre las barras de refuerzo.*

3.- Cálculo de agua de mezclado y contenido de aire. La cantidad de agua por unidad de volumen de concreto necesaria para alcanzar una consistencia dada, será dependiente del tamaño máximo de las partículas, de la forma y la granulometría de los agregados y de la cantidad de aire incluido, aunque este último no afecta el contenido de cemento en la mezcla de concreto.

TABLA 2.4 AGUA DE MEZCLADO APROXIMADA PARA DIFERENTES REVENIMIENTOS, TAMAÑOS MÁXIMOS NOMINALES DE AGREGADOS Y REQUERIMIENTOS DE AIRE INCLUIDO PARA DIFERENTES CONDICIONES DE EXPOSICIÓN.

Agua, kg/m ³ de concreto para los tamaños máximos nominales indicados de los agregados								
Revenimiento, cm	10*	13*	20*	25*	38*	50+	75+ +	150+ +
Concreto sin aire incluido								
2.5 a 5	208	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
15 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin aire incluido, por ciento	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
2.5 a 5	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10	202	193	184	175	165	157	133	119
15 a 17.5	216	205	197	184	174	166	154	-
Promedios recomendados de contenido total de aire, porcentaje para diferentes grados de exposición:								
Baja exposición	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5***	1.0***
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5***	3.0***
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5***	4.0***

* Las cantidades de agua de mezclado que se dan para concreto con aire incluido, se basan en los requerimientos típicos de contenido de aire como se indica para "exposición moderada" en la tabla que antecede.

+ Los valores de revenimiento para el concreto que contiene agregado mayor de 38 mm, están basados en pruebas de revenimiento hechas después de remover las partículas mayores de 38 mm, por medio de cribado húmedo.

** Para concreto que contiene agregados grandes que serán cribados con humedad en una criba de 38 mm antes de la prueba del contenido de aire, el porcentaje de aire esperado en el material de menos de 38 mm deberá ser el tabulado en la columna de 38 mm. Sin embargo, los cálculos iniciales de proporcionamiento deberán incluir el contenido de aire como un porcentaje del total.

+ + Cuando se utilice agregado grande en concreto de bajo factor cemento, el aire incluido no necesita ser perjudicial a la resistencia. En la mayoría de los casos, el requerimiento del agua de mezclado es suficientemente reducido para mejorar la relación agua/cemento y así compensar el efecto de reducción de la resistencia del concreto con aire incluido. Por lo tanto y generalmente, para estos tamaños máximos nominales de agregado, deberán considerarse los contenidos de aire recomendados para una exposición extrema, aunque pueda haber poca o ninguna exposición a la humedad y al congelamiento.

Para calcular una mezcla por tanteos se emplea la tabla 2.4 en la cual se muestra la cantidad aproximada de aire atrapado esperado en el concreto sin inclusión de aire y los

niveles recomendados de contenido total de aire para diferentes grados de exposición de concreto.

4.- Selección de la relación agua/cemento. A consecuencia de que los distintos agregados y cementos producen diferentes resistencias con la misma relación agua/cemento, es conveniente analizar la relación entre la resistencia y la relación agua/cemento de los materiales a utilizar. En caso de no tener antecedentes de resistencias y relaciones agua/cemento, es recomendable emplear la tabla 2.5 realizada con cemento portland Tipo I.

TABLA 2.5 RELACIONES ENTRE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO.

Resistencia a la compresión a 28 días (MPa) ^a	Relación agua-cemento, por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
40	0.42	-
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52*
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

^a Los valores son resistencias promedio estimadas para concreto que contiene no más del porcentaje de aire marcado en la tabla 9-2. Para una relación constante de agua-cementante, la resistencia del concreto se reduce en cuanto el contenido de aire se aumenta. La resistencia está basada en cilindros de 15 x 30 cm curados con humedad a los 28 días a (23 ± 1.7 °C) de acuerdo con la Sección 9(b) del ASTM C 31, para *Making and Curing Concrete Compression and Flexure and Test Specimens in the Field*.
Fuente: Reproducido con autorización del American Concrete Institute.

5.- Cálculo del contenido de cemento.

Este contenido de cemento es igual al contenido de agua de mezclado dividido entre la relación agua/cemento.

6.- Cálculo del contenido de agregado grueso.

Con base en el peso volumétrico seco varillado o compacto del agregado grueso (P.V.S.C.) se estima el volumen máximo de agregado grueso que se puede usar por unidad de volumen de concreto.

En la tabla 2.7 se toman las siguientes consideraciones:

También es conveniente mencionar que se debe satisfacer los criterios de resistencia como los de durabilidad, obteniendo valores que deberán reducirse dependiendo del grado de exposición señalado en la tabla 2.6.

TABLA 2.6 RECOMENDACIONES PARA CONCRETO DE PESO NORMAL SUJETO AL ATAQUE DE SULFATOS.

Exposición	Sulfato * soluble en agua (SO ₄) en el suelo, por ciento	Sulfato * (SO ₄) en el agua, ppm	Cemento	Relación agua/cemento, máxima ⁺
Baja	0.00 - 0.10	0 - 150	-	-
Moderada ⁺	0.10 - 0.20	150 - 1500	Tipo II, IP (MS), IS (MS)	0.50
Severa	0.20 - 2.00	1500 - 10,000	Tipo V ⁺⁺⁺	0.45
Muy severa	Arriba de 2.0	Arriba de 10,000	Tipo V ⁺ puzolana o escoria ^{**}	0.45

* El sulfato indicado como SO₄ se refiere al sulfato indicado como SO₃, como se registra en los informes de análisis químicos de cemento en que SO₃ x 1.2 = SO₄

+ Cuando los cloruros u otros agentes despasivantes están presentes además del sulfato, una relación más baja de agua-cemento puede ser necesaria para reducir la corrosión potencial de los elementos empotrados. Ver el capítulo 4.

++ O una mezcla de cemento Tipo I y una escoria granulada o una puzolana que ha sido determinada por pruebas que puede dar la resistencia equivalente a los sulfatos.

+++ O una mezcla del cemento Tipo II y una escoria granulada o una puzolana que ha sido determinada por pruebas que puede dar la resistencia equivalente a los sulfatos.

** Use una puzolana o escoria que ha sido determinada por pruebas que puede mejorar la resistencia a los sulfatos cuando se use en concreto que contiene cemento Tipo V.

Fuente: ACI Committee 201, Guide to Durable Concrete, *ACI Materials Jour.*, Vol. 88, No. 5, pág. 553, 1991.

- Para un grado adecuado de trabajabilidad, el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto depende solamente del tamaño máximo y del módulo de finura del agregado fino.
- Las diferencias en la cantidad de mortero necesario para una consistencia dada con diferentes agregados, originadas por diferencias en la forma de la partícula y en la graduación, son compensadas automáticamente por las diferencias en el contenido de cavidades del varillado en seco.

El volumen del agregado, dado en metros cúbicos, para un metro cúbico de concreto se convierte en peso seco del agregado grueso, multiplicando el volumen por el peso unitario varillado seco.

TABLA 2.7 VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO.

Tamaño máximo del agregado (mm)	Volumen de agregado ^a grueso varillado en seco por unidad de volumen de concreto para distintos módulos de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
10	0.50	0.48	0.46	0.44
13	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.59	0.67	0.65
38	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

^a Los volúmenes están basados en agregados en condición de varillado en seco como se describe en el ASTM C 29, Unit Weight of Aggregate. Estos volúmenes son seleccionados a partir de relaciones empíricas para producir concreto con un grado de trabajabilidad adecuado para construcciones usuales reforzadas. Para concreto menos trabajable, como el requerido para la construcción de pavimentos, pueden incrementarse en aproximadamente 10 por ciento. Para concreto más trabajable tal como el que se puede necesitar algunas veces cuando su colocación se realiza por bombeo, los volúmenes pueden reducirse hasta en 10 por ciento.

Fuente: Reproducido con autorización del American Concrete Institute.

TABLA 2.8 PRIMERA ESTIMACIÓN DEL PESO DE CONCRETO FRESCO.

7.-

Tamaño máximo del agregado (mm)	Primera estimación del peso del concreto (kg/m ³) ^a	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
10	2280	2190
13	2310	2230
20	2350	2280
25	2380	2315
38	2415	2350
50	2445	2375
75	2470	2400
150	2510	2445

^a Valores calculados para el concreto de riqueza media, (325 kg de cemento por metro cúbico) y un revenimiento medio con agregado de densidad relativa de 2.7. Los requerimientos de agua están basados en valores de 7.5 a 10 cm de revenimiento en la tabla 9-2. Si se desea, el peso estimado puede ser afinado como sigue, cuando se tenga la información disponible: por cada 5 kg de diferencia en el agua de mezclado de los valores de la tabla 9-2, para cada 7.5 a 10 cm de revenimiento, corrija el peso por metro cúbico en 10 kg en la dirección opuesta; por cada 45 kg de diferencia en el concreto con contenido de cemento de 325 kg, corrija el peso por metro cúbico en 10 kg, en la misma dirección; por cada 0.1 en que la densidad relativa específica del agregado se desvíe de 2.7, corrija el peso del concreto en 45 kg, en la misma dirección.

Fuente: Reproducida con autorización del American Concrete Institute.

Cálculo del contenido de agregado fino. En este punto, solo se tienen las cantidades de los demás materiales faltando el agregado fino, por consiguiente; se puede determinar de dos formas.

- La primera, por el *método del peso*, para el cual se debe conocer con anticipación o por experiencia el peso volumétrico del concreto en estado fresco, a cuyo valor se le resta el peso de los otros componentes ya dosificados. En la tabla 2.8 se dan pesos volumétricos de concreto fresco para diferentes condiciones de agregados y contenido de aire.
- La segunda, el *método de volumen absoluto*, en el cual, el volumen total desplazado por los materiales ya calculados, (aire, agua, cemento y agregado grueso), se resta del volumen unitario (1m³) para obtener el volumen faltante, a su vez, se multiplica por la densidad del material.

8.- Ajustes por humedad del agregado.- Este ajuste se debe a que los agregados pueden tener diferentes humedades y sin la corrección por humedad, la relación agua/cementante de la mezcla se modificará y los pesos de los agregados serán diferentes de los obtenidos para la condición saturada superficialmente seca (SSS), estimados en los puntos 6 y 7. Dependiendo de la absorción y humedad de los agregados se incrementará o disminuirá el agua de mezclado y las cantidades requeridas de agregado grueso y fino.

9.- Ajustes de la mezcla. Debido a que las tablas para el diseño de mezclas están realizadas con materiales distintos a los que se emplearán en las mezclas por fabricar, es necesario realizar pruebas preliminares para ver físicamente el comportamiento del concreto en estado fresco. Se determinará revenimiento, trabajabilidad (libre de segregación), peso unitario y contenido de aire en una muestra de alrededor de 30 lt de concreto; y una vez que satisfaga los criterios deseados se procede a realizar la mezcla definitiva.¹⁰

NOTA: En el apéndice 4 se observan las propiedades producto de los ensayos realizados a cada una de las mezclas.

Para efectos de este estudio las mezclas son de bajo consumo de cemento en 5.7% y 6.5% del total del volumen de las mezclas (175 kg/m^3 a 207 kg/m^3), y en lo que se refiere a la relación A/C es de 0.874 en promedio, con rangos de 0.821 a 0.926.

En los agregados la relación grava/arena es de 49/51, en la media de las 6 mezclas.



Fig. 2.2 Termómetro en cámara húmeda. Temperatura prom. 23 °C.



Fig. 2.1 Mezclado de concreto en revolvedora.

2.2.2 ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS

A continuación se hace una breve reseña del proceso que se siguió en la elaboración del concreto. Una vez que se obtuvo el diseño y dosificación se humedeció la olla revolvedora, se mezclaron los agregados, el agua y el material cementante; por espacio de 3 minutos con un reposo de 5 minutos y un segundo mezclado de 3 minutos.

¹⁰ Ídem. 9

En este último mezclado se adicionó el aditivo plastificante y plastificante de medio rango con el que se obtuvo un incremento de 4 a 5 cm de revenimiento.

Concluida esta fase, se procedió a obtener sus propiedades en concreto fresco: consistencia por medio del cono de Abrams, contenido de aire, masa volumétrica, y temperatura.

De acuerdo a la norma NMX-C-160 se realizó el llenado y curado de especímenes a temperatura $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa del 100% hasta las fechas de ensayo.



Fig. 2.3 Cámara Húmeda. H. R. de 100%

2.2.3 METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTANTE

Es importante mencionar que el método ACI 211.1, Práctica Estándar de Elección de las Proporciones para el Concreto Normal, de Densidad Elevada y Masivo (Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavy Weight and Mass Concrete) es diseñado y con base en antecedentes y estudios realizados a cierto número de mezclas elaboradas con agregados, cementantes, agua, aditivos que discrepan de los utilizados en este estudio.

Estas mezclas obviamente tienen propiedades diferentes, por lo que se analizaron dosificaciones realizadas para los concretos de baja resistencia.

Con apoyo en la tabla 2.9 se determinó la tendencia que se muestra en la figura 2.4:

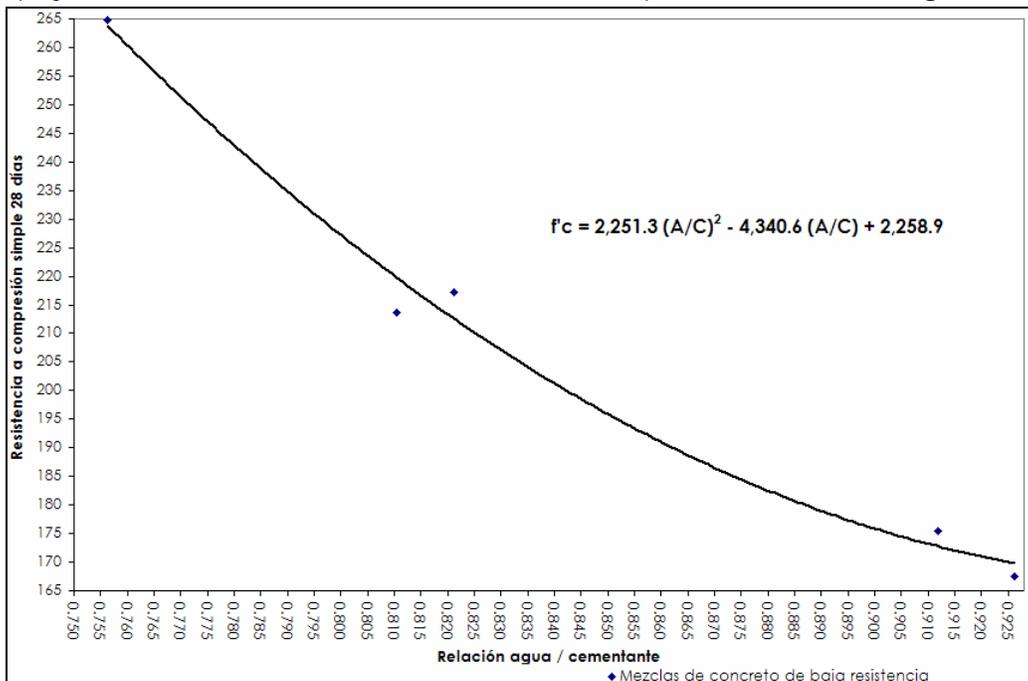


Fig. 2.4 Tendencia de la curva resistencia a compresión ($f'c$) y relación agua / cementante

Una vez conocida dicha ecuación se busca la resistencia a la compresión de diseño (f'_{cr}), que resulta ser 171.00 kg/cm² y 174.07 kg/cm² para concretos con agregado grueso andesítico y calizo, respectivamente.

TABLA 2.9 RELACIÓN DE RESISTENCIAS A COMPRESIÓN Y RELACIONES AGUA / CEMENTANTE

No. DE MUESTRA	RELACIÓN A/C	F'C A 28 DÍAS	FECHA	AGREGADO GRUESO
M-1	0.810	213.67	17-Ago-05	ANDESITA
M-2	0.926	167.50	30-Ago-05	ANDESITA
M-3	0.821	217.22	22-Sep-05	ANDESITA
M-4	0.756	264.79	24-Oct-05	ANDESITA
M-6	0.912	175.53	15-Nov-05	ANDESITA
M-5	0.927	177.04	10-Nov-05	CALIZA

CONCLUSIONES.

- Se describe en detalle el método de diseño de las mezclas con referencia al informe ACI 211.1, tomando en consideración las características que se requieren para el concreto de baja resistencia para la vivienda de interés social.

CAPITULO 3.

CARACTERÍSTICAS ACTUALES DEL CONCRETO EMPLEADO EN VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL

INTRODUCCIÓN

El concreto de baja resistencia ($150 - 200 \text{ kg/cm}^2$) es inferior en costo de fabricación en relación con el concreto clase 1 (igual o mayor de 250 kg/cm^2) o al clase 2 (inferior de 250 kg/cm^2 pero no menor de 200 kg/cm^2), según la N.T.C., porque requieren un menor consumo de cemento.

Para producir esos concretos se usan materiales comunes y aditivos plastificantes (plastificante normal y de rango medio) debido a la elevada fluidez con que se fabrican; se requiere prestar atención al mezclado, colocación y curado ya que la segregación y agrietamiento tenderá a hacerse presente. Normalmente es necesario realizar pruebas preliminares para verificar las características específicas del concreto. Los concretos de baja resistencia se usan principalmente para construir viviendas de interés social o proyectos habitacionales económicos.



Fig. 3.1 Planta de fabricación de concreto

Los concretos de baja resistencia se producen con materiales de calidad normal, y consumos óptimos de cementante. Estos materiales se dosifican, mezclan, colocan, compactan y curan de manera convencional. Tienen una relación agua/materiales cementantes de 0.86 a 0.95. Se usan aditivos plastificantes de rango normal y medio para disminuir la cantidad de agua y aumentar el revenimiento.

3.1 COMPONENTES DEL PRINCIPALES DEL CONCRETO

El concreto es una mezcla de dos matrices principales: agregados pétreos y pasta. La pasta se compone de material cementante (cemento pòrtland y en ocasiones puzolanas), y agua; a ésta se le unen la arena y grava (ya sea de río o de banco, parcial o totalmente triturada).



Fig. 3.2 Componentes del concreto de baja resistencia.

En el estudio se le dará atención especial a la pasta de cemento de la que dependerá propiedades tales como: resistencia a compresión, módulo de elasticidad y relación de Poisson, resistencia a flexión, etc., mismas que se analizarán posteriormente.

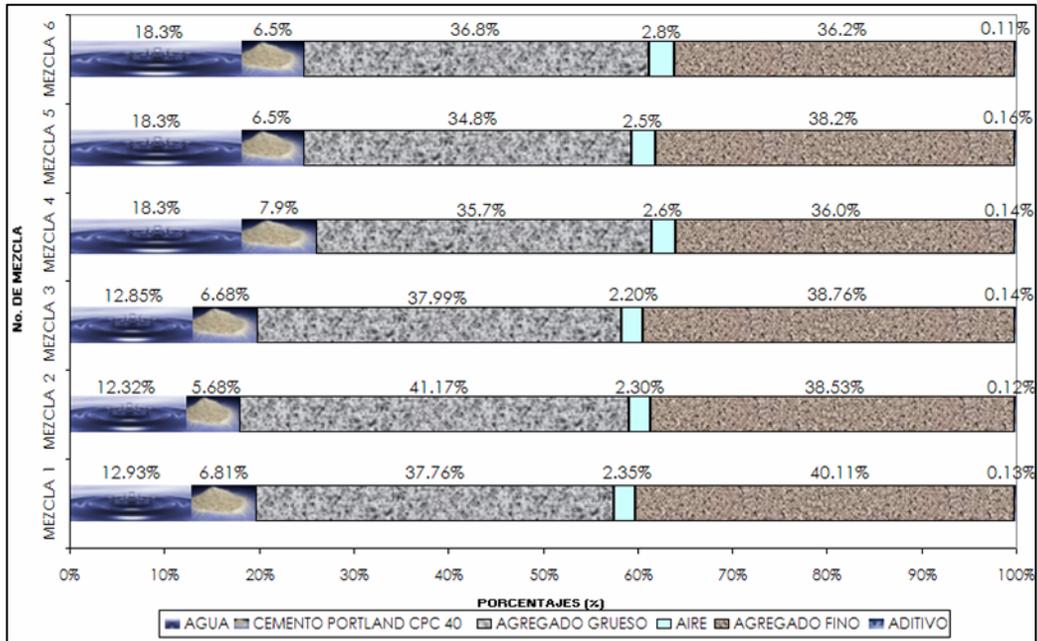


Fig. 3.3 Proporcionamiento de las mezclas de concreto de baja resistencia, en volúmenes absolutos

3.1.1 CEMENTANTES

Es importante que el aditivo plastificante o plastificante de medio rango seleccionado sea compatible con el cemento portland que se emplean en combinación para la fabricación de la mezcla.

En la investigación se empleó el cemento pórtland compuesto 40 (CPC 40) el cual fue suministrado a granel.

Este tipo de cemento resulta de la integración del clínker pórtland, sulfato de calcio, una mezcla de materiales puzolánicos, escoria de alto horno y caliza.

TABLA 3.1 COMPONENTES DEL CEMENTO CPC 40 SEGÚN LA NMX-C-414-ONNCC-2003

Tipo	Denominación	Componentes (% en masa)					
		Principales					Minoritarios ⁽¹⁾
		Clínker Pórtland + yeso	Escoria granulada de alto horno	Materiales puzolánicos ⁽²⁾	Humo de sílice	Caliza	
CPC	Cemento Pórtland Compuesto ⁽³⁾	50-94	6-35	6-35	1-10	6-35	0-5

NOTA:

- (1) Los componentes minoritarios deben ser uno o más de los componentes principales en la tabla.
- (2) Los materiales puzolánicos incluyen: puzolanas naturales, artificiales y/o cenizas volantes.
- (3) El cemento pórtland compuesto debe llevar como mínimo dos componentes principales, excepto cuando se adicione caliza, ya que ésta puede ser en forma individual en conjunto con clínker + yeso.

3.1.1.1 ESPECIFICACIONES FÍSICAS DEL CEMENTO PORTLAND COMPUESTO CPC 40

Este cemento debe tener las siguientes características:

- Resistencia a compresión mínima a 28 días:
40 N/mm (408 kg/cm²).
- Tiempos de fraguado: inicial 45 minutos (mínimo) y final 600 minutos (máximo).
- Estabilidad de volumen en autoclave: expansión 0.80% (máximo) y contracción 0.20% (máximo).

Los consumos de cementante (cemento pórtland compuesto CPC 40) para la fabricación de concretos con resistencias a compresión de 150 kg/cm² y 200 kg/cm², fue 175 kg/m³ y 207 kg/m³, respectivamente.

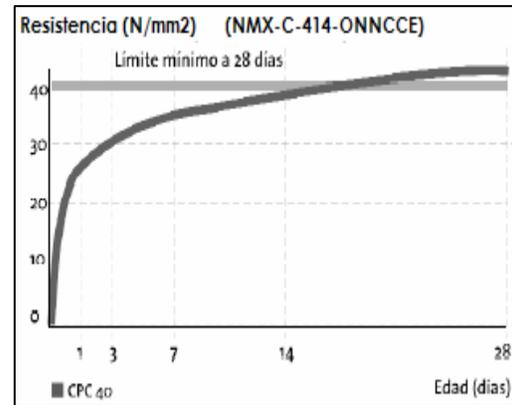


Fig. 3.4 Resistencia a la compresión del cemento realizado en el Centro Tecnológico del Concreto de Holcim Apasco.

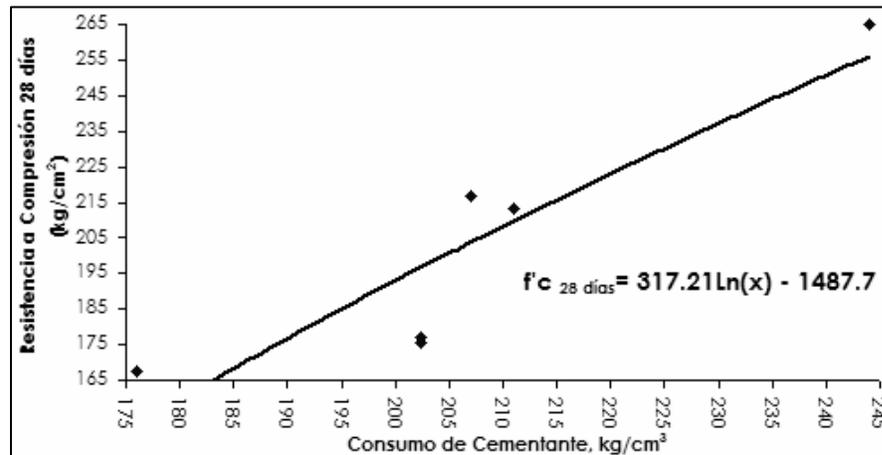


Fig. 3.5 Efecto del cementante en la resistencia a Compresión

3.1.2 AGREGADOS PÉTREOS

Los agregados pétreos empleados en el estudio son: para las mezclas 1, 2, 3, 4 y 6 agregado grueso y fino andesítico (origen ígneo); en la mezcla 5 se empleó agregado grueso calizo (origen sedimentario) y agregado fino andesítico de procedencia local. Dichos agregados se emplearon para observar la influencia del agregado grueso andesítico y calizo en el comportamiento del concreto.

Con el objetivo de determinar las propiedades físicas de los agregados pétreos, requeridos en el proporcionamiento de las mezclas, se le realizaron ensayos de laboratorio

tales como: granulometría, densidad, absorción, peso volumétrico seco suelto y compacto.

3.1.2.1 AGREGADO FINO

Como se mencionó anteriormente, el agregado fino es de origen andesítico del banco de mina "La Lupita" en el Estado de México. La norma ASTM C-33, Especificación Estandarizada para Agregados del Concreto (Standard Specification for Concrete Aggregates) especifica:

- El agregado fino de la muestra retenido entre cualquiera de dos tamices consecutivos no debe contener más del 45% del material.
- El módulo de finura debe ser mayor de 2.3 y menor de 3.1, y no debe variar más de 0.2 del valor típico de la fuente del agregado.
- El material más fino que pasa la malla #200 debe ser como máximo el 5% del total, para el caso de concretos no expuestos a la abrasión.

Cabe mencionar que el porcentaje de finos excedía el 5% con 18.49% en promedio de las muestras empleadas para las mezclas. El exceso de finos en la arena tendrá repercusión en el consumo de agua requerido, pero no se cambiaron sus características debido a que así se emplea a nivel industrial.

En el apéndice 1 se presentan los resultados obtenidos en laboratorio del ensaye ASTM C-33, tabla 3.1.1, 3.2.1 y 3.3.1, que corresponden a las características de las arenas usadas en los concretos de las mezclas 4, 5 y 6, respectivamente.



Fig. 3.6 Varios tamaños de partículas que se encuentran en el agregado fino.

De acuerdo con la norma NMX-C-111 si se tiene un módulo de finura de entre 2.6 a 2.9 la arena se clasifica como media (2.8 en promedio).

De acuerdo con los ensayes realizados se puede concluir que el agregado fino tuvo las siguientes propiedades físicas. Tabla 3.2.

TABLA 3.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO FINO

Tipo de Agregado	Agregado Fino			Promedio
	Andesita	Andesita Tolva II UNAM	Andesita	
Fecha de Fabricación	24-Oct-05	10-Nov-05	15-Nov-05	N/A
Módulo de Finura	2.803	2.644	2.895	2.8
Densidad (gr/cm3)	2.336	2.364	2.367	2.4
Absorción (%)	7.35%	6.65%	6.25%	6.8%
Humedad (%)	5.06%	9.82%	3.34%	6.1%
Pasa malla #200 (%)	18.64%	19.11%	17.71%	18.5%
P.V.S.S. (kg/m ³)	1,497.33	1,423.03	1,523.03	1,481
P.V.S.C. (kg/m ³)	1,639.42	1,669.46	1,653.05	1,654

TABLA 3.3 LÍMITES MÁXIMOS DE SUSTANCIAS NOCIVAS EN EL AGREGADO FINO

Concepto	Máximo % en masa de la muestra total
Grumos de arcilla y partículas deleznable	3.0
Materiales finos que pasan la criba F 0.075 (200)	
*En concreto sujeto a abrasión	3.0
*En otros concretos	5.0
Carbón y lignito	
*En concreto aparente	0.5
*En otros concretos	1.0

FUENTE: NMX-C-111

En el apéndice 6 se hace el estudio de la plasticidad del agregado fino que pasa la malla No. 40 debido a que tiene más de 5% de materiales finos que pasan la malla F 0.075 (#200). Los finos de arena se clasificaron como arena mal graduada con limo, mezclas de arenas y limos (SP - SM_d).

3.1.2.2 AGREGADO GRUESO

En el presente estudio se seleccionó un agregado tamaño máximo nominal de 19 mm (¾") de origen andesítico de la mina "Moncayo" en el Estado de México y una caliza de 19 mm (¾") de Jiutepec, Morelos, los cuales se estudiaron para observar su comportamiento mecánico en un concreto de baja resistencia.

Cabe mencionar que en los *concretos de baja resistencia*, la resistencia mecánica esta gobernada por la resistencia de la pasta (agua + cementante). Debido a la alta relación agua/cementante que predomina, la falla de la pasta ocurre antes que esto se presente en el agregado. En *concretos normales y de alta resistencia predomina la falla por adherencia pasta-agregado*.

Para concreto de baja resistencia no se realiza algún cuidado especial al agregado, como pudiese ser eliminar polvos, almacenaje especial, etc; debido a que su prioridad en su fabricación es la economía, dado su enfoque para vivienda de interés social. En el apéndice 1 se presentan las pruebas físicas realizadas en ambos agregados.

En las tablas 3.1.3, 3.2.3 y 3.3.3, se observa las curvas granulométricas obtenidas de las pruebas físicas realizadas a los agregados gruesos calizos y andesíticos.

Los resultados que se obtuvieron para este agregado grueso de acuerdo con la norma ASTM C-33 se muestran en la tabla 3.4.

TABLA 3.4 RESULTADOS OBTENIDOS DEL AGREGADO GRUESO

Tipo de Agregado	Agregado Grueso 19 mm (¾")			
	Andesita	Andesita	Promedio de Andesitas	Caliza
Fecha de Fabricación	24-Oct-05	15-Nov-05	-	10-Nov-05
Módulo de Finura	4.899	4.759	4.8	4.2
Densidad (gr/cm ³)	2.378	2.326	2.4	2.7
Absorción (%)	3.68%	5.48%	4.6%	0.9%
Humedad (%)	1.04%	1.02%	1.03%	0.12%
P.V.S.S. (kg/m ³)	1,235.41	1,217.28	1,226	1,426
P.V.S.C. (kg/m ³)	1,317.57	1,303.87	1,311	1,486

3.1.3 AGUA

En laboratorio se empleó para la fabricación de concreto de baja resistencia (CBR) agua procedente del sistema de abastecimiento del campus universitario y, en las mezclas extraídas en obra, el agua de mezclado fue el del sistema de agua potable del municipio de Tecamac, Estado de México.

Los consumos de agua en l/m³ se muestran en la tabla 3.5; en el apéndice 4 se muestran con más detalle.

TABLA 3.5 CANTIDADES DE AGUA DOSIFICADA EN LAS MEZCLAS

	MEZCLA 1 (17/AGO/05)	MEZCLA 2 (30/AGO/05)	MEZCLA 3 (22/SEP/05)	MEZCLA 4 (24/OCT/05)	MEZCLA 6 (15/NOV/05)	MEZCLA 5 (10/NOV/05)
DOSIFICACIÓN Unidades por m³						
Agua de mezclado	-	-	-	182.84	183.12	183.72
Agua por absorción	-	-	-	41.607	59.50	-19.64
Agua (ℓ)	171.00	163.00	170.00	224.44	242.62	164.08
Relación A/C	0.810	0.926	0.821	0.756	0.912	0.927
FC 28 DIAS	213.67	167.50	217.22	264.79	175.53	177.04

TABLA 3.6 VALORES CARACTERÍSTICOS Y LÍMITES MÁXIMOS TOLERABLES DE SALES E IMPUREZAS EN EL AGUA

Impurezas	Límites en p.p.m.	
	Cementos ricos en calcio	Cementos sulfuresistentes
Sólidos en suspensión		
* En aguas naturales (limos y arcillas)	2,000	2,000
* En aguas recicladas (finos de cemento y agregados)	50,000	35,000
Cloruros como CL (a)		
* Para concreto con acero de preesfuerzo y piezas de puente	400 (c)	600 (c)
* Para otros concretos reforzados en ambiente húmedos o en contacto con metales como el aluminio, acero galvanizado y otros similares		
Sulfato como SO ⁴ (a)	700 (c)	1,000
Magnesio como Mg ⁺⁺ (a)	3,000	3,500
Carbonatos como CO ³	100	150
Dióxido de carbonato disuelto, como CO ²	600	600
Análisis totales como Na ⁺	5	3
Total de impurezas en solución	300	450
Grasas o Aceites	3,500	4,000
Materia orgánica (oxígeno consumido en medio ácido)	0	0
	150 (b)	150 (b)
Valor de pH	No menor de 6	No menor de 5

FUENTE: NMX-C-122

Notas:

- Las aguas que excedan los límites enlistados para cloruros, sulfatos y magnesio, podrán emplearse si se demuestra que la concentración calculada de estos compuestos e el agua total de la mezcla, incluyendo el agua de absorción de los agregados, u otros orígenes, no excede dichos límites.
- El agua se puede usar siempre y cuando las arenas que se empleen en el concreto acusen un contenido de materia orgánica cuya coloración se inferior a 2 de acuerdo con el método de la NOM C-88.
- Cuando se use cloruro de calcio como aditivo acelerante, la cantidad de éste deberá tomarse en cuenta para no exceder el límite de cloruros de esta tabla.

3.1.4 ADITIVOS

Los aditivos plastificantes y plastificantes de rango medio cumplen con la norma ASTM C-494 (Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete) y son de vital importancia debido a que aportan propiedades que mejoran el desempeño de las mezclas, entre ellas:

- Reducción de agua de mezclado (10%)

- Menor cantidad de cemento (10%)
- Consistencia compatible con las características del colado ($18 \pm 3.5\text{cm}$)
- Retardador de tiempo de fraguado de 1 a 3:30 hrs.



Fig. 3.7 Muros de concreto de baja resistencia de ancho 10 cms.

Se usó la cantidad de aditivo requerida para disminuir el agua de la mezcla en un 10%, y producir concreto con un revenimiento de 18 cm; se requirió este revenimiento debido a la estrechez del elemento estructural, que en este caso son muros de 10 cm de espesor.

A pesar de la reducción del contenido de agua, los aditivos reductores de agua pueden aumentar la contracción por secado. Los reductores de agua disminuyen, aumentan o no tienen ningún efecto sobre el sangrado (exudación), dependiendo de su composición química. ¹¹

Los aditivos empleados en este estudio se componen de dos tipos:

- Reductor de agua o aditivo plastificante, tipo A y D.
- Reductor de agua de rango medio o aditivo plastificante de rango medio. Tipo A.

Según la norma ASTM C-494 los aditivos se clasifican por su tipo en:

- Tipo A.- Aditivo reductor de agua
- Tipo B.- Aditivo retardante
- Tipo C.- Aditivo acelerante
- Tipo D.- Aditivo reductor de agua y retardante
- Tipo E.- Aditivo reductor de agua y acelerante
- Tipo F.- Aditivo reductor de agua de alto rango
- Tipo G.- Aditivo reductor de agua de alto rango y retardante

En el apéndice 3 se hace referencia a las fichas técnicas de los aditivos empleados en la fabricación de este tipo de concreto de baja resistencia.

¹¹ KOSMATKA, Steven H; KERKHOFF, Beatrix; PANARESE, William C., *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*, 1ra Edición, Ed. Portland Cement Association PCA, México, 2004, 456 pág.

La dosificación del aditivo plastificante es de 3.44 ml/100 kg de cementante y en el caso del aditivo plastificante de rango medio de 4.26 ml/100 kg de cementante. En el apéndice 4 se muestra a detalle el consumo de aditivo por mezcla.

Las densidades de los aditivos en este caso resultaron ser:

- Aditivo plastificante. Tipo A y D; 1.21 gr/cm³.
- Aditivo plastificante de rango medio. Tipo A; 1.28 gr/cm³.

3.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

El concreto es un material progresivo de constante cambio, ya que recorre un largo proceso que va desde la selección de los materiales hasta su curado. Sin embargo, se hace necesario controlarlo, medirlo y evaluarlo mediante ensayos y normas. A continuación se mencionan algunas características importantes evaluadas al concreto fresco.

3.2.1 HOMOGENEIDAD Y UNIFORMIDAD

Esta condición de gran importancia se cumplió en las tres mezclas fabricadas en laboratorio así como en las muestreadas en campo.

3.2.2 CONSISTENCIA

La prueba de revenimiento empleada como medida de consistencia, está reglamentada por la norma ASTM C-143 y para éste tipo de concreto se requería un revenimiento de diseño de 18 cm, para la colocación del concreto en cimbras estrechas. En los muestreos de campo y laboratorio se obtuvo un revenimiento de 18 ± 3.5 cm, por lo tanto se cumplió con los parámetros establecidos en la norma NMX-C-155 para concretos con revenimientos mayores de 15 cm.



Fig. 3.8 Ensayo de asentamiento de cono de Abrams. (Arriba)



Fig. 3.9 Termómetro para medir la temperatura del concreto fresco de $\pm 0.5^\circ\text{C}$ de precisión. (Derecha)

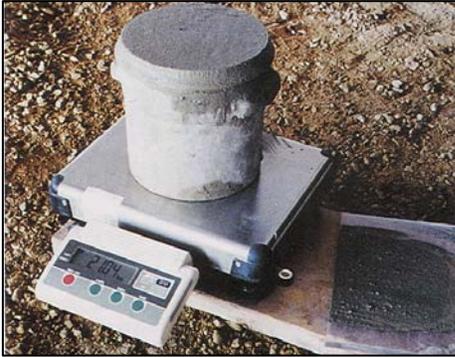


Fig. 3.10 Se pesa el concreto fresco en un recipiente de volumen conocido para la determinación de la masa volumétrica.

La *temperatura* (ASTM C-1064) del concreto de baja resistencia se mantuvo entre 18 °C y 23 °C, con rango de 5 °C. Esta baja temperatura es debida al bajo consumo de cemento (en comparación con el requerido en los concretos normales y de alta resistencia) que genera reducido calor de hidratación.

La *masa volumétrica* (ASTM C-138) del concreto de baja resistencia fue de 2,149 kg/m³ en concreto con agregados andesíticos y 2,260 kg/m³ en concretos con agregado grueso calizos y agregado fino andesítico, ubicándose los primeros dentro de los concretos clase 2 con masas volumétricas de 1,900 a 2,200 kg/m³.

El *contenido de aire* (ASTM C-231) fue determinado por el método de presión basada en la ley de Boyle, la cual relaciona presión y volumen¹².



Fig. 3.11 Medidor del tipo de presión para determinar el contenido de aire.

TABLA 3.7 PROPIEDADES DEL CONCRETO CBR EN ESTADO FRESCO

	MEZCLA 1 (17/AGO/05)	MEZCLA 2 (30/AGO/05)	MEZCLA 3 (22/SEP/05)	MEZCLA 4 (24/OCT/05)	MEZCLA 6 (15/NOV/05)	MEZCLA 5 (10/NOV/05)
Propiedades del Concreto Fresco						
Revenimiento, cm	16	17	15	16	21	15
Masa Volumétrica, kg/m ³	2,165	2,121	2,158	2,154	2,147	2,261
Contenido de Aire, %	2.8	2.3	2.2	2.6	2.8	2.5
Temperatura del Concreto, °C	18	23	22	22	18	18

3.2.3 ESTABILIDAD Y COMPACIDAD

Cabe mencionar que en ninguna mezcla ya fuese muestreada en campo o fabricada en laboratorio presentó *segregación o sangrado* excesivo. El sangrado observado fue mínimo, especialmente en la mezcla 6 sin provocar algún problema.

3.3 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

Mediante el empleo de concreto de baja resistencia (CBR) se obtienen resistencias mecánicas adecuadas para la demanda de capacidad requerida para la vivienda evaluada.

¹² Ídem. 11

A continuación se presentan relaciones entre las propiedades del concreto de baja resistencia ($150 \text{ kg/cm}^2 - 200 \text{ kg/cm}^2$).

- Relación entre el módulo de ruptura y la resistencia a compresión: 14.69% en agregados andesíticos y 18.06% con agregado grueso calizo.
- Relación entre resistencia a la tensión y la resistencia a compresión: 8.83% en agregados andesíticos y 10.04% con agregado grueso calizo.
- Relación entre resistencia a la tensión y módulo de ruptura: 60.11% en agregados andesíticos y 55.57% con agregado grueso calizo.
- Relación entre $M.E./\sqrt{f'c}$: 8,905 a 28 días y 10,071 a 90 días con agregados andesíticos y 18,363 a 28 días y 18,006 a 90 días con agregado grueso calizo.
- Relación $M_R/\sqrt{f'c}$: 2.22 con agregados andesíticos y 2.44 con agregado grueso calizo a 28 días.
- Relación $f_T/\sqrt{f'c}$ con 1.26 con agregados andesíticos y 1.36 con agregado grueso calizo a 28 días.



Fig. 3.12 Falla de cilindro ensayado a compresión simple.

Por lo tanto, es un concreto que esta dentro de los parámetros establecidos para concretos clase 1 y 2.

3.3.1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE ($f'c$)

La determinación de ésta importante propiedad para el diseño de estructuras está reglamentada bajo la norma ASTM C-39 (Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens). Independientemente de que las resistencias a compresión están en el rango especificado de 150 kg/cm^2 a 200 kg/cm^2 , en las tablas 3.8 y 3.9 se pueden observar los incrementos en los porcentajes de resistencia a compresión a 3, 7, 14, 28 y 90 días, expresados como el promedio de 3 mezclas con agregados andesíticos (mezclas 1, 2 y 6) y calizos (mezcla 5). Esto es importante conocer para el avance de obra.

TABLA 3.8 INCREMENTOS DE RESISTENCIA DE CONCRETOS CON AGREGADOS ANDESÍTICOS

ESPECÍMEN	PESO (gr)	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (mm)	CARGA (kg)	$F'c$ (kg/cm^2)	% DE RESISTENCIA A 28 DIAS	REVENIMIENTO (cm)	PESO VOLUMÉTRICO (kg/m^3)
3 DIAS	11,724.8	152.17	303.75	15,583	93.20	50.2%	18	2,122.84
7 DIAS	11,868.3	151.55	303.75	24,643	136.58	74.1%	18	2,165.98
14 DIAS	12,206.0	153.16	306.83	29,307	158.89	86.1%	18	2,156.93
28 DIAS	11,808.0	151.08	304.04	33,245	185.57	100.0%	18	2,165.96
90 DIAS	12,833.1	155.78	309.75	44,578	230.28	124.2%	18	2,165.02

TABLA 3.9 INCREMENTOS DE RESISTENCIA DE CONCRETOS CON AGREGADOS CALIZOS

Rango de 50 ton					Vel. de carga: 25 ton/min			
ESPECIMEN	PESO (gr)	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (mm)	CARGA (kg)	F _c (kg/cm ²)	% DE RESISTENCIA A 28 DIAS	REVENIMIENTO (cm)	PESO VOLUMÉTRICO (kg/m ³)
3 DÍAS	12,098.0	150.17	300.13	21,320	96.00	54.2%	15	2,276.22
7 DÍAS	13,368.5	156.33	309.00	24,610	128.04	72.3%	15	2,250.62
14 DÍAS	12,407.5	152.00	302.00	29,900	164.78	93.1%	15	2,264.08
28 DÍAS	12,571.5	153.83	304.63	32,900	177.04	100.0%	15	2,220.44
90 DÍAS	12,123.0	149.67	300.42	36,967	210.11	118.7%	15	2,268.59

En la figura 3.15 se observa los incrementos de resistencias para la mezcla 2 con agregados andesíticos muestreada en campo, la mezcla 5 con agregado grueso calizo fabricada en laboratorio y la mezcla 6 elaborada en laboratorio con los mismos agregados que la mezcla 2. Es de gran importancia señalar la poca diferencia observada en los resultados no obstante, las diferentes condiciones que hay en la elaboración de concreto en campo y en laboratorio.



Fig. 3.13 Máquina universal de capacidad de 250 ton. (Izquierda)

Fig. 3.14 Cilindro de concreto de baja resistencia de dimensión de 15 cm por 30 cm ensayado a compresión simple. (Derecha)

La similitud, que existe entre las mezclas con andesita y caliza se propicia porque la resistencia está gobernada por la resistencia de la pasta de cemento y no por la resistencia del agregado.

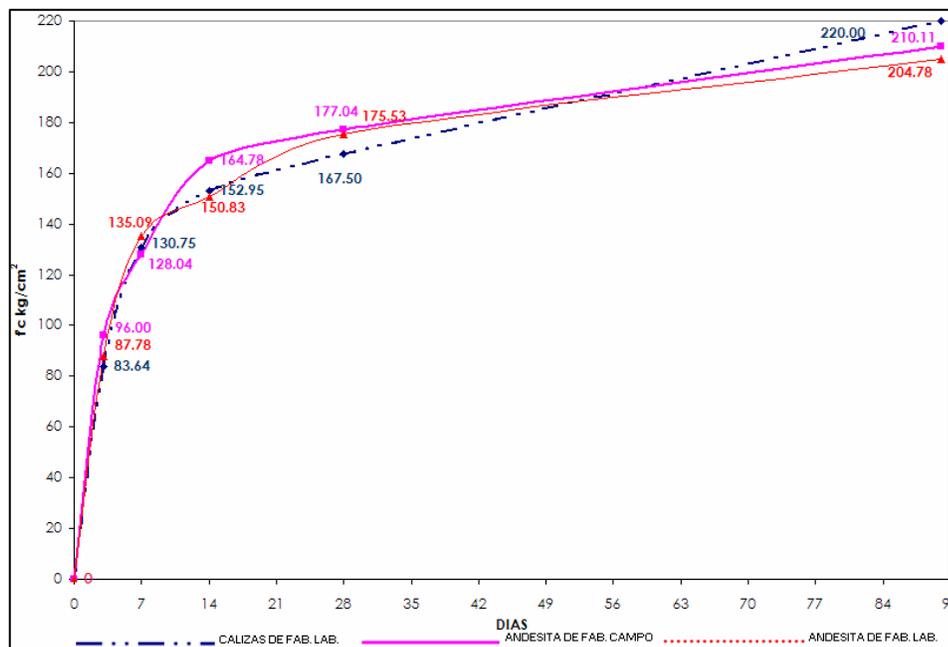


Fig. 3.15 Resistencias a compresión de concretos con agregado grueso andesita y caliza.

Nota: En el apéndice 5 se contempla con detalle las relaciones f_c/f'_c en la cual se indican los porcentajes de incremento de cada mezcla analizada.

3.3.2 RESISTENCIA A TENSIÓN INDIRECTA (f_t)

En esta propiedad de resistencia especificada por la norma ASTM C-496 Método estándar para resistencia a tensión por compresión diametral de especímenes cilíndricos de concreto (Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens), en la cuál se obtuvieron los resultados de la tabla 3.10.

TABLA 3.10 RESULTADOS DE COMPRESIÓN DIAMETRAL (f'_{ct})

COLADO	Tiempo (días)	f'_c (kg/cm ²)	$f'_{ct} =$ (kg/cm ²)	$f_t / \sqrt{f'_c}$
M-1	28	212.06	17.63	1.21
M-2		165.54	15.33	1.19
M-3		229.13	21.05	1.39
M-4		259.70	18.75	1.16
M-6		164.35	17.49	1.36
M-5 CALIZA		171.94	17.77	1.36

En el apéndice 5 presentan a detalle los análisis de cada mezcla fabricada y muestreada.



Fig. 3.16 Ensayo a tensión indirecta de cilindro de concreto en laboratorio.



Fig. 3.17 Falla de cilindro ensayada a tensión indirecta.

3.3.3 ESFUERZO DE FLEXIÓN DEL CONCRETO (M_R)

En este ensayo normalizado por ASTM C-78, Método estándar de prueba de resistencia a flexión de concreto (Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)).

La determinación de esta propiedad del concreto es importante para el diseño de pavimentos de concreto. Los resultados de las mezclas analizadas de 1 a 6 se muestran en la tabla 3.11.

TABLA 3.11 RELACIÓN ENTRE RESISTENCIAS POR COMPRESIÓN, FLEXIÓN Y TENSIÓN DEL CONCRETO

DATOS		Resistencia del Concreto (kgf/cm ²)				Relación (%)			MATERIAL PÉTRICO	
COLADO	RELACIÓN A/C	COMPRESIÓN (kg/cm ²)	MÓDULO DE RUPTURA (kg/cm ²)	TENSIÓN (kg/cm ²)	MODULO DE RUPTURA A LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	RESISTENCIA A LA TENSIÓN A LA COMPRESIÓN	RESISTENCIA A LA TENSIÓN AL MÓDULO DE RUPTURA	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	
M-1	0.810	213.67	29.92	17.63	14.00%	8.25%	58.91%	ANDESITA	ANDESITA	
M-2	0.926	167.50	26.80	15.33	16.00%	9.15%	57.20%	ANDESITA	ANDESITA	
M-3	0.821	217.22	33.46	21.05	15.40%	9.69%	62.91%	ANDESITA	ANDESITA	
M-4	0.756	264.79	37.24	18.75	14.06%	7.08%	50.34%	ANDESITA	ANDESITA	
M-6	0.912	175.53	24.57	17.49	14.00%	9.96%	71.17%	ANDESITA	ANDESITA	
PROMEDIO	0.845	207.74	30.40	18.05	14.69%	8.83%	60.11%			
M-5	0.927	177.04	31.98	17.77	18.06%	10.04%	55.57%	CALIZA	ANDESITA	

3.3.4 MÓDULO DE ELASTICIDAD (E) Y RELACIÓN DE POISSON (μ)

Para estimar deformaciones debidas a cargas de corta duración se requiere conocer el módulo de elasticidad y la relación de Poisson. Se obtienen mediante la prueba reglamentada por ASTM C-469, Método estándar de ensaye para módulo de elasticidad estático y relación de Poisson de concreto a compresión (Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression).



Fig. 3.18 Ensaye a módulo de elasticidad y relación de Poisson.

El módulo de elasticidad es función principalmente de la resistencia a compresión y de su masa volumétrica; de su resistencia debido a que a mayor resistencia a compresión mayor módulo y de su masa volumétrica debido a que también aumenta con el incremento en su masa, propiciado principalmente por la *densidad de los agregados*.

La relación de Poisson es de interés en problemas de investigación estructural, principalmente en los que hay comportamiento tridimensional para estimar las deformaciones por cortante.

$$G_r = E_c / 2(1 + \mu)$$

En la tabla 3.12 se presentan los módulos elásticos y relaciones de Poisson, y en la figura 3.19 la representación gráfica de las curvas esfuerzo – deformación unitaria desarrollada por las mezclas analizadas en el presente estudio.

TABLA 3.12 RESULTADOS DE ENSAYE DE MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON A 28 Y 90 DÍAS

	MEZCLA 1 (17/AGO/05)	MEZCLA 2 (30/AGO/05)	MEZCLA 3 (22/SEP/05)	MEZCLA 4 (24/OCT/05)	MEZCLA 5 (10/NOV/05)	MEZCLA 6 (15/NOV/05)
Resistencia a Compresión de Cilindros de 150 x 300 mm, sometidos a curado húmedo						
FC 28 DÍAS	213.67	167.50	217.22	264.79	177.04	175.53
FC 90 DÍAS	266.08	220.00	280.32	293.91	210.11	204.78
Módulo de Elásticidad de Cilindros de 150 x 300 mm, sometidos a curado húmedo						
28 DÍAS	130,712.61	88,555.10	140,054.44	137,848.78	240,784.69	139,229.37
90 DÍAS	177,693.60	135,047.63	147,361.00	161,505.67	260,999.42	173,608.91
Relación de Poisson de Cilindros de 150 x 300 mm, sometidos a curado húmedo						
28 DÍAS	N/A	0.161	0.230	0.286	0.295	0.237
90 DÍAS	0.253	0.219	0.257	0.271	0.286	0.288

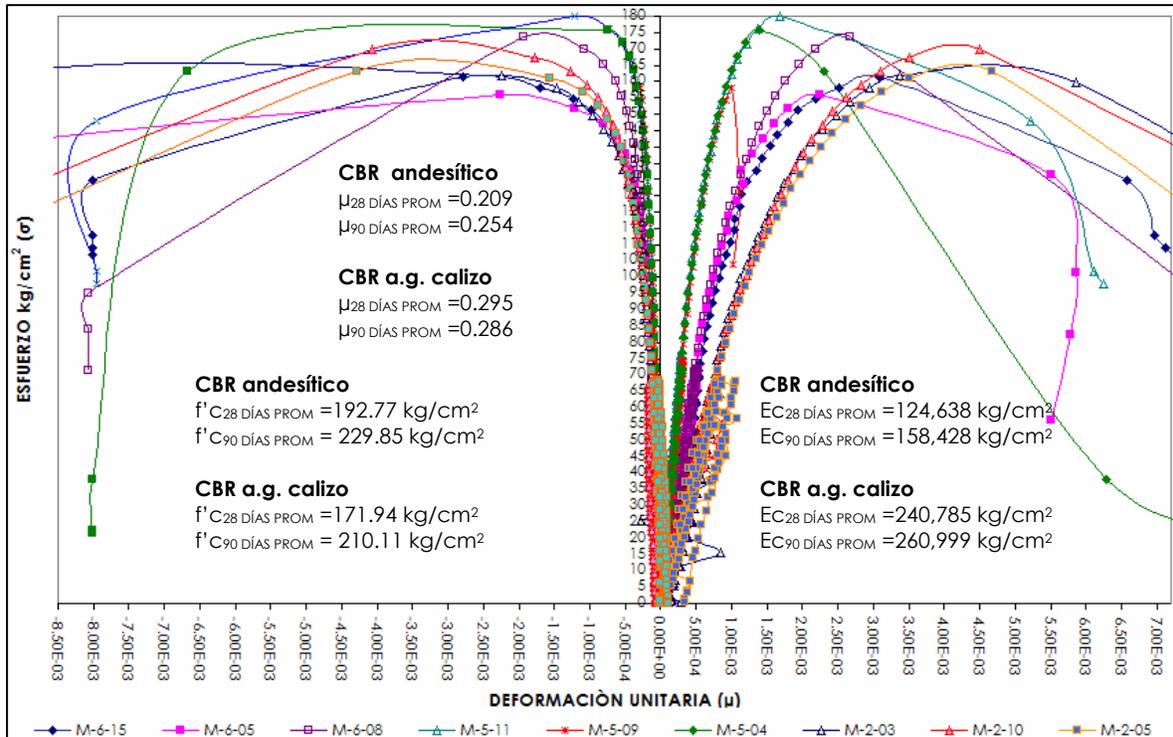


Fig. 3.19 Curva esfuerzo (σ) – deformación unitaria (ϵ) a 28 días
Nota. En el apéndice 5 se visualiza la fig. 3.18 en forma más detallada.

En la tabla 3.13 se presenta de manera estimada de acuerdo con el estudio realizado rangos que se encuentran en concretos de baja resistencia ($150 \text{ kg/cm}^2 - 200 \text{ kg/cm}^2$).

TABLA 3.13 ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS EN CONCRETOS CBR A 28 DÍAS CON AGREGADOS ANDESÍTICOS

PROPIEDADES DEL CONCRETO	UNIDAD	RANGO INF.	RANGO SUP.
Resistencia a compresión simple, f'_c	Kg/cm ²	150	200
Relación Agua/Cementante	relación	0.955	0.856
Permeabilidad de iones de cloruros ($C\ell$)			
• A 28 días	coulombs	7,288	6,934
• A 90 días	coulombs	3,032	3,135
Módulo de Ruptura (M_R)	kg/cm ²	27.19	31.40
Resistencia a tensión (f_t)	kg/cm ²	15.43	17.82
Módulo de Elasticidad (E)			
• A 28 días	kg/cm ²	110,332	125,975
• A 90 días	kg/cm ²	157,044	158,091
Relación de Poisson (μ)	relación	0.198	0.231

3.3.5 CAMBIOS VOLUMÉTRICOS

3.3.5.1 CONTRACCIÓN POR SECADO (ϵ_u)

Este fenómeno que experimenta el concreto a través del tiempo se traduce en expansiones (incremento del volumen por absorción de agua, indica un movimiento de agua de fuera a dentro de la estructura del gel en el concreto) o contracciones (causadas por la pérdida de agua por evaporación, por la hidratación del cemento, o por carbonatación).

La determinación de esta propiedad del concreto está reglamentada por la norma ASTM C-157 Método de ensayo para determinar el cambio de longitud del mortero y del concreto de cemento hidráulico endurecido (Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete) y la importancia de ésta determinación se debe a que en los elementos estructurales de concreto restringidos, al expandirse y contraerse el concreto se producen esfuerzos de compresión y tensión, respectivamente, siendo de importancia o de tensión, que originan grietas en el elemento debido a la baja resistencia del concreto a estos esfuerzos.



Fig. 3.20 Barras de CBR de 7.5 X 7.5 x 28 cm en cámara seca

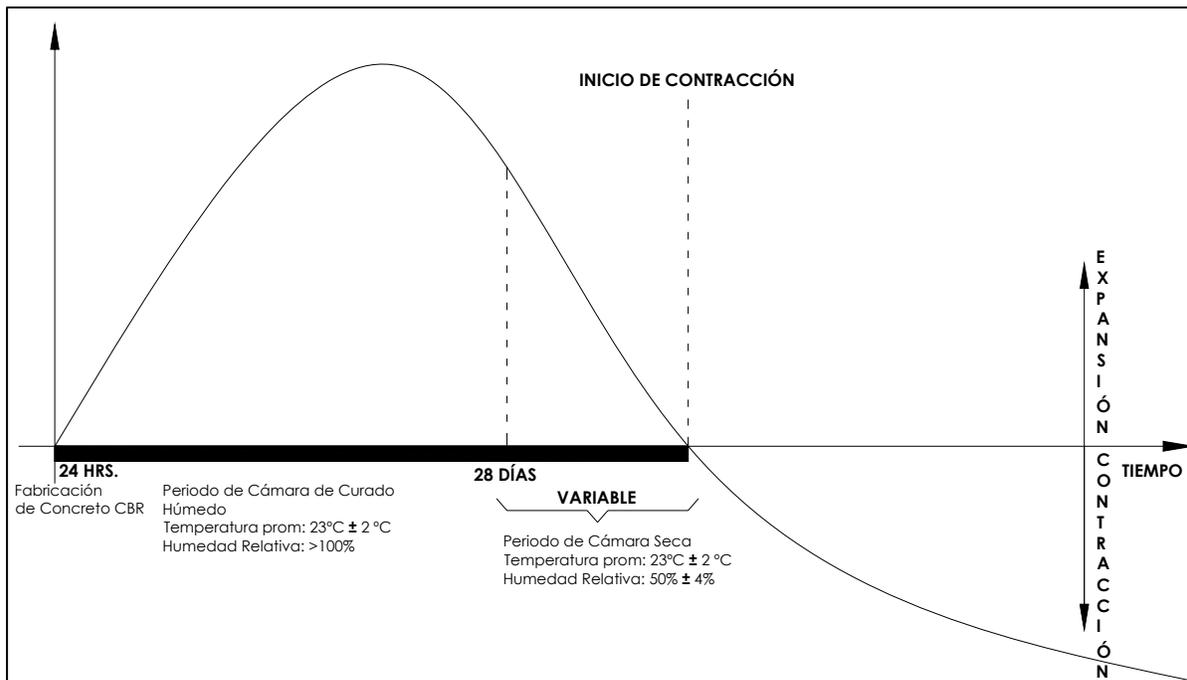


Fig. 3.21 Representación de cambios volumétricos y condiciones de curado del concreto.

La mayor parte de la contracción por secado se manifiesta en el primer año, pero continúa por varios años, adquiriendo la curva una tendencia asintótica con el tiempo.

El contenido de agua que posee el concreto endurecido saturado esta en función de la porosidad global y se consideran cuatro estados conforme la dificultad de extracción por evaporación en el concreto:

- Agua libre de absorción
- Agua capilar
- Agua de gel
- Agua de hidratación

Cabe mencionar que la pérdida por secado del agua libre de absorción y el agua capilar produce contracciones reversibles; y la pérdida del agua de gel tiende a provocar contracciones permanentes en la pasta del cemento hidratada.



Fig. 3.22 Lecturas tomadas del comparador de longitudes

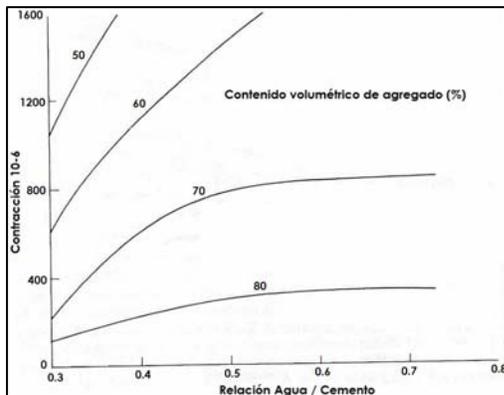


Fig. 3.23 Influencia de la relación agua/cementante y el porcentaje de agregados en la contracción.

El concreto con mayor volumen de agregados presentan menos contracción. La calidad de la pasta de cemento afecta directamente a la contracción por secado, ya que a mayor relación agua/cementante se incrementa la contracción por secado. Agregados con módulos de elasticidad altos y/o superficies rugosas disminuyen la contracción.

La contracción por secado es una propiedad inevitable del concreto; por tanto, para controlarla se emplea acero de refuerzo para reducir los anchos de grieta, o, en su caso, se emplean juntas que predeterminen y controlen la aparición de las grietas.

En la tabla 3.14 se presentan las contracciones por secado de las 6 mezclas estudiadas.

TABLA 3.14 COMPARACIÓN ENTRE CONTRACCIÓN POR SECADO Y REL. A/C DEL CONCRETO

Relación Agua/Cementante	0.810	0.926	0.821	0.756	0.912	0.927
Cambio de longitud del espécimen a edad de 20 semanas	0.132%	0.141%	0.121%	0.122%	0.110%	0.079%
Constracción por Secado de Prismas de 75 x 75 mm x 285 mm	MEZCLA 1 (17/AGO/05)	MEZCLA 2 (30/AGO/05)	MEZCLA 3 (22/SEP/05)	MEZCLA 4 (24/OCT/05)	MEZCLA 6 (15/NOV/05)	MEZCLA 5 (10/NOV/05)
ϵ_{otima} 7 días, millonésimos	352.19	377.29	530.55	529.58	355.14	273.19
ϵ_{otima} 14 días, millonésimos	571.55	615.00	755.25	756.25	554.96	418.15
ϵ_{otima} 28 días, millonésimos	830.04	897.85	958.15	962.17	772.19	569.15
ϵ_{otima} 56 días, millonésimos	1,072.59	1,165.98	1,106.83	1,113.81	960.10	694.57
ϵ_{otima} 90 días, millonésimos	1,205.69	1,314.25	1,175.75	1,184.32	1,057.30	757.64
ϵ_{otima} 180 días, millonésimos	1,342.93	1,467.99	1,239.30	1,249.46	1,153.46	818.87
ϵ_{otima} 365 días, millonésimos	1,425.14	1,560.51	1,274.21	1,285.29	1,209.21	853.85

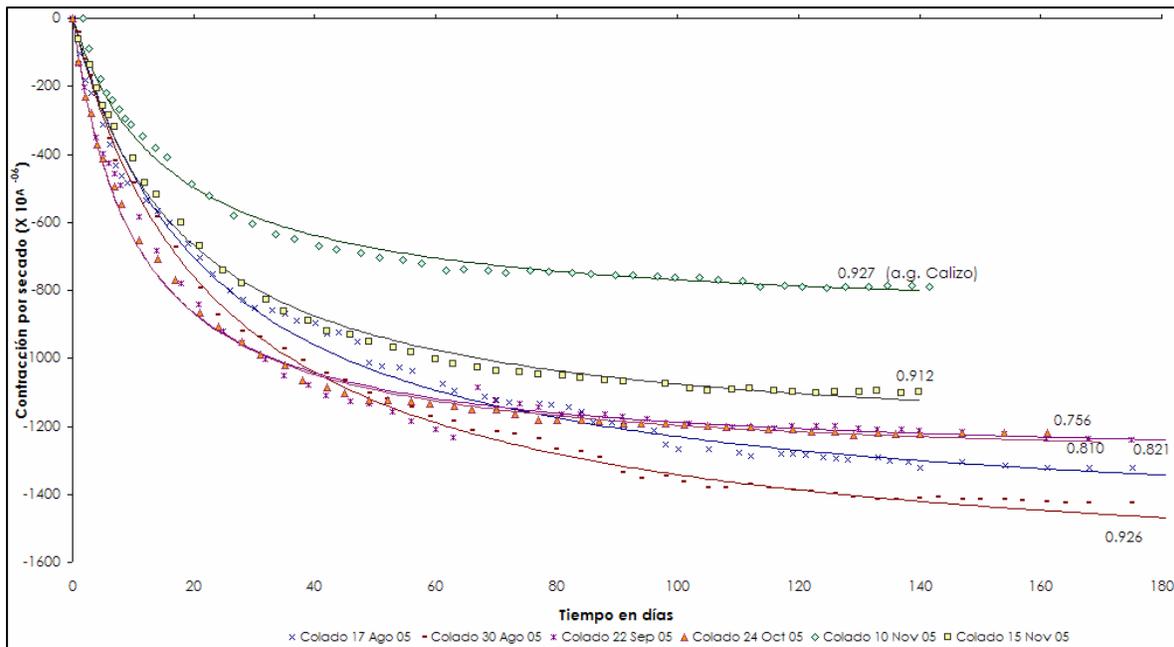


Fig. 3.24 Comparación del desarrollo de las curvas de contracción por secado con diferentes relaciones Agua / Cementante.

En el apéndice 7 se ilustran a detalle el desarrollo de las contracciones por secado de los muestreos 1 a 3 en los cuales se contemplan las contracciones por olla de concreto fabricada, se nota un promedio de contracción por secado del orden de 0.132% a 175 días en dos muestreos de concreto del 17 Ago 06, 0.141% a 168 días en los 3 muestreos de concreto del día 30 Ago 06 y 0.137% a 168 días en los 2 muestreos de concreto del día 22 Sep 06; por lo tanto se deduce en términos experimentales que los concretos fabricados tienen una contracción promedio de 0.137% a 170 días.

3.3.5.2 DEFORMACIÓN DIFERIDA (C_u)

El flujo plástico o deformación diferida es el incremento de deformación del concreto con el tiempo debida a una carga sostenida, es decir, es el incremento de la deformación bajo un esfuerzo constante e ininterrumpido; incluye deformaciones relacionadas con el esfuerzo y excluye las causadas por contracción por secado, y/o deformaciones térmicas; por ello, el flujo plástico es considerado a partir de la deformación elástica inicial, la cual depende del esfuerzo aplicado y del módulo de elasticidad a la edad de carga.



Fig. 3.25 Marcos para flujo plástico en la cámara seca



Fig. 3.26 Mediciones empleando deformímetro (equipo whitmore)

Este ensaye se realiza con base en la norma ASTM C-512 Método de ensayo para determinar la fluencia del concreto a compresión (Standard Test Method for Creep of Concrete in Compression).

La contracción por secado es un factor aditivo en las deformaciones globales del concreto en servicio a través del tiempo. La evolución del flujo plástico en un espécimen de concreto presenta tres etapas:

1. Condición de precarga
2. Condición de carga aplicada y sostenida
3. Condición de retiro de carga y descarga permanente

Es importante contar con un espécimen testigo en proceso de secado sin carga ya que con éste determina la contracción por secado y por diferencia, se determina la deformación diferida total del espécimen cargado.

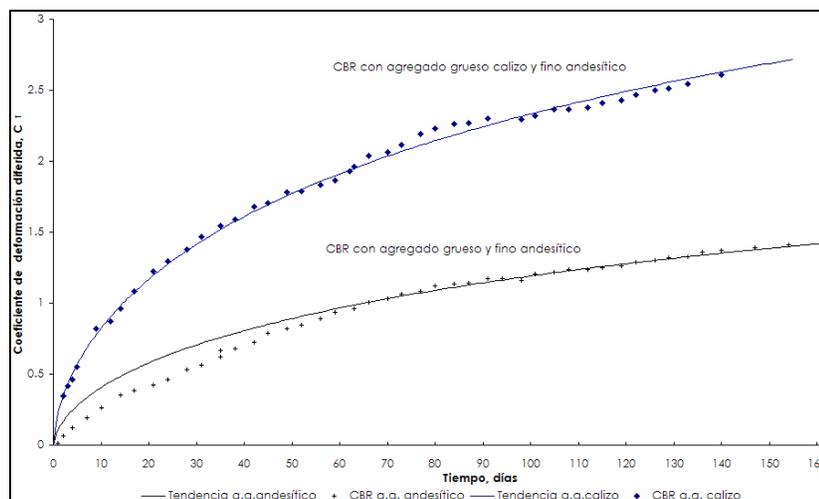


Fig. 3.27 Variación del coeficiente de deformación diferida con respecto al tiempo

3.3.6 RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA PERMEABILIDAD DE LOS CLORUROS

En el estudio se evaluó esta propiedad relacionada con la durabilidad mediante la norma ASTM C-1202, Método estándar de ensaye para la indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro (Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration).

En el método se determina la conductividad eléctrica del concreto, a partir de la cual se estima la permeabilidad del concreto a los iones de cloruro; es una estimación rápida de la resistencia del concreto a la penetración de los cloruros. Normalmente se especifica para tableros de puentes.

TABLA 3.15 PARÁMETROS DE LA NORMA ASTM C1202

COULOMBS	PERMEABILIDAD AL ION CLORURO	TÍPICO DE:
>4,000	ALTA	ALTA REL. A/C
4,000 - 2,000	MODERADA	REL A/C 0.4-0.5
2,000 - 1,000	BAJA	REL. A/C <0.4
1,000 - 100	MUY BAJA	CONCRETO MODIFICADO CON LÁTEX CONCRETO
<100	INSIGNIFICANTE	MODIFICADO CON POLÍMEROS

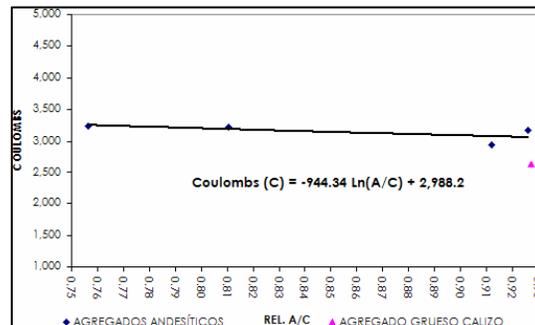
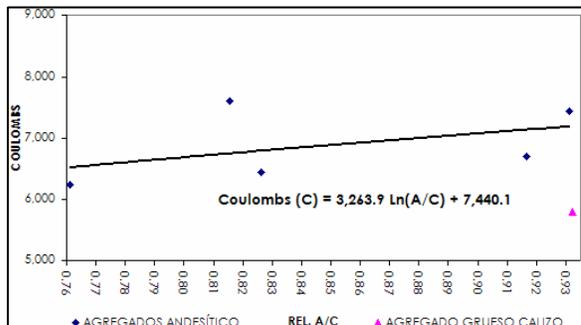
En el primero se vierte una solución de cloruro de sodio al 3% por masa de agua destilada y, en el otro, una solución de hidróxido de sodio al 0.3% N (normal) por masa de agua destilada.

Se estima midiendo la carga total (Coulombs) que pasa a través del espécimen de concreto de 100 mm de diámetro y 50 mm de espesor, bajo un voltaje de corriente de 60 V durante 6 horas, en una celda que tiene dos depósitos de soluciones químicas.

TABLA 3.16 RESULTADOS DE CONCRETO DE BAJA RESISTENCIA

COLADO	RELACIÓN A/C	COULOMBS A 28 DIAS	COULOMBS A 90 DIAS
M-1	0.810	7,598	3,223
M-2	0.926	7,445	3,175
M-3*	0.821	6,434	
M-4	0.756	6,221	3,239
M-6	0.912	6,710	2,938
PROMEDIO	0.845	6,882	3,144
*Se descarta el M-3 a 90 días por incongruencia de resultado			
M-5 CALIZA	0.927	5,783	2,623

En las mezclas analizadas se obtuvieron los resultados que se mencionan en la tabla 3.16. Las figuras 3.28 y 3.29 indican en forma estimada que el incremento de la relación A/C incrementa la permeabilidad del concreto a los iones de cloruros, se presentan ecuaciones para un cálculo aproximado tomado como base los ensayos realizados.



3.3.6.1 EQUIPO DE LABORATORIO PARA REALIZAR EL ENSAYE ASTM C-1202



Fig. 3.30 De izquierda a derecha: desecador al vacío, agua destilada, vacuómetro, recipiente con agua destilada y bomba de vacío.

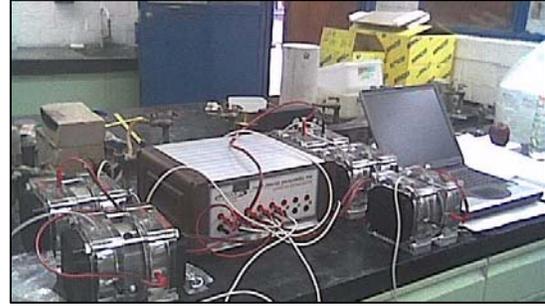


Fig. 3.31 De izquierda a derecha: celdas medidoras con empaques, unidad microprocesador de fuente de energía y PC.



Fig. 3.32 Desecador de Vacío.



Fig. 3.33 Celdas medidoras de la permeabilidad a los iones de cloruros en el concreto.

Nota: Es importante que durante el corte del cilindro al tamaño que se requiere se proceda lentamente con el fin de que los contornos no se dañen y los resultados que se obtengan sean confiables.

Es conveniente destacar que en la preparación de las celdas los especímenes de concreto queden herméticamente sellados para que durante el ensaye no exista derrame de la solución, debido a que se tiende a incrementar la temperatura de 23°C a 45° C como producto de la corriente inducida; sí se sobrepasa los 90°C o los 500 V se detiene el ensaye.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Status	FIN	FIN	FIN	FIN	FIN	OFF	OFF	OFF
Voltage-Actual	60.0	60.0	59.9	60.0	59.9	----	----	----
Current-Actual	176.6	339.6	170.0	206.5	347.3	----	----	----
Temperature	39	35	36	44	40	----	----	----
Elapsed Time	6:00	6:00	6:00	6:00	6:00	0:00	0:00	0:00
Pred. Coulombs	7130	7680	4154	7757	7825	----	----	----
Testing time	6h							
Specimen Diameter	100 mm							
Coulombs	7131	7682	4154	7758	7825	----	----	----
Permeab. Class	High	High	Moder.	High	High	----	----	----

Fig. 3.34 Pantalla del programa para el ensaye ASTM C-1202 durante el ensaye de permeabilidad del concreto.



Fig. 3.35 Especimen de concreto de 100 mm de diámetro y 50 mm de espesor.

CONCLUSIONES.

- En este capítulo se hace referencia al desarrollo de los ensayos experimentales mencionados en el capítulo 1, aplicados a los concretos de baja resistencia para vivienda de interés social.

 - Los aspectos a destacar de los CBR se mencionan a continuación:
 - Tienen una relación agua/materiales cementantes de 0.86 a 0.95.
 - En la investigación se empleó el cemento pórtland compuesto 40 (CPC 40).
 - Los consumos de cementante para resistencias a compresión de 150 kg/cm² y 200 kg/cm², son 175 kg/m³ y 207 kg/m³, respectivamente.
 - Los agregados pétreos empleados en el estudio son: para las mezclas 1, 2, 3, 4 y 6 agregado grueso y fino andesítico; en la mezcla 5 se empleó agregado grueso calizo y agregado fino andesítico de procedencia local.
 - El porcentaje de finos excedía el 5%, con 18.49% en promedio de las muestras empleadas para las mezclas.
 - En éste tipo de concretos la resistencia mecánica esta gobernada por la resistencia de la pasta (agua + cementante) y en concretos normales y de alta resistencia predomina la falla por adherencia pasta-agregado.
 - Se usó la cantidad de aditivo requerida para disminuir el agua de la mezcla en un 10%, y producir concreto con un revenimiento de 18 ± 3.5 cm.
 - La mayor parte de la contracción por secado se manifiesta en el primer año, pero continúa por varios años, adquiriendo la curva una tendencia asintótica con el tiempo.
 - El concreto con mayor volumen de agregados presentan menos contracción.

 - Este tipo de concreto tiene un buen desempeño en viviendas económicas en cuanto a resistencia mecánica, pero, baja resistencia a la permeabilidad de los cloruros.
-

CAPITULO 4.

RESULTADOS DE ENSAYES EXPERIMENTALES

INTRODUCCIÓN

Definido el alcance de los concretos de baja resistencia (CBR) es conveniente determinar los parámetros asociados a éstos concretos fabricados con cemento portland compuesto CPC 40 (207 kg/m³), agregados gruesos calizos y andesíticos T.M.N. de 19 mm, ¾" (853 kg/m³), arena andesítica (855 kg/m³), aditivo plastificantes normal y de rango medio (1.6 l/m³) y agua potable (190 l/m³), apéndice 4).

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS CONCRETOS DE BAJA RESISTENCIA

4.1.1 INCREMENTO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE CON RESPECTO A LA EDAD

De acuerdo con los ensayos de resistencia a compresión simple a edades de 3, 7, 14, 28 y 90 días, apéndice 5, y con los resultados obtenidos se determinan los incrementos de resistencia respecto a la de 28 días en concretos con agregados andesíticos y agregado grueso calizo, (fig. 4.1) tabla 4.1.

TABLA 4.1 INCREMENTOS DE f'c EN CONCRETO CBR

TIPO	TIEMPO (días)	COMPRESIÓN (kg/cm ²)	f _c t/f _c 28 días
Agregados Andesíticos	3	98.16	51%
	7	137.28	72%
	14	169.32	88%
	28	193.48	100%
	90	242.79	125%
Agregado Grueso Calizo	3	96.00	54%
	7	128.04	72%
	14	164.78	93%
	28	177.04	100%
	90	210.11	119%

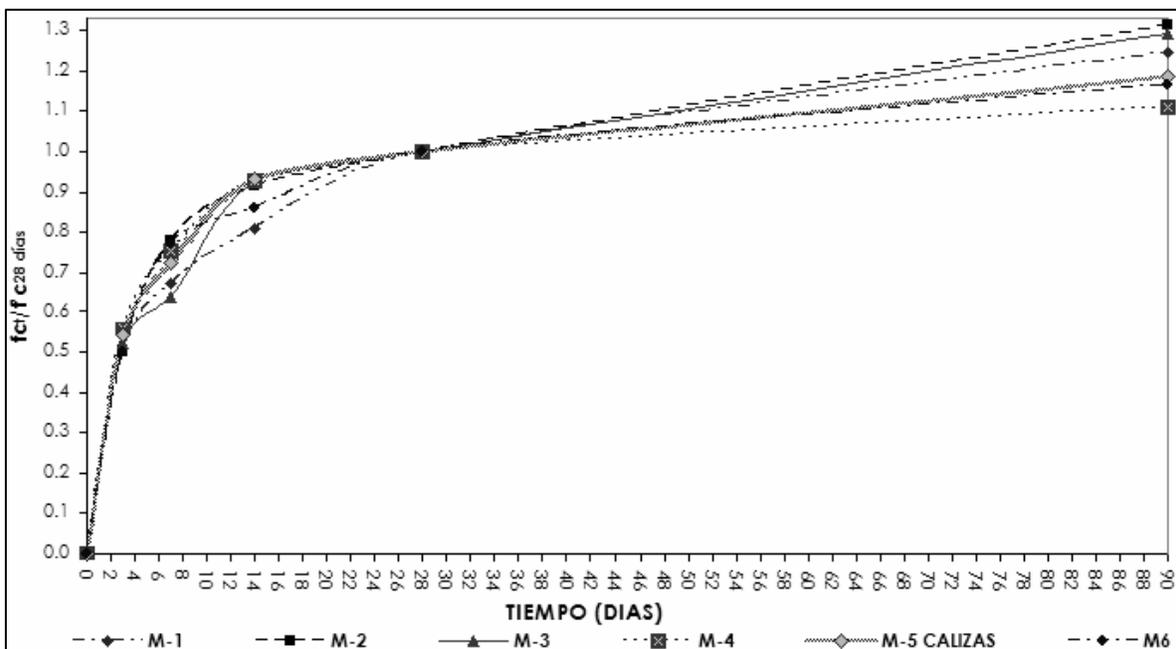


Fig. 4.1 Incrementos de resistencia a compresión con respecto a f'c 28 días

La expresión encontrada para estimar la resistencia del concreto (CBR) a cualquier edad respecto a la de 28 días es:

$$f'_{Ct} = \left(\frac{t}{4.66 + 0.77t} \right) \times f'_{C\ 28\ \text{días}}$$

CBR CON AGREGADO GRUESO ANDESÍTICO

$$f'_{Ct} = \left(\frac{t}{4.03 + 0.80t} \right) \times f'_{C\ 28\ \text{días}}$$

CBR CON AGREGADO GRUESO CALIZO

Donde:

f'_{Ct} = resistencia a compresión simple del concreto (CBR) a t días después de colado, kg/cm²

t = edad en días a la que se busca estimar la resistencia f'_{Ct}

$f'_{C\ 28\ \text{días}}$ = resistencia a compresión simple del concreto a 28 días después de colado

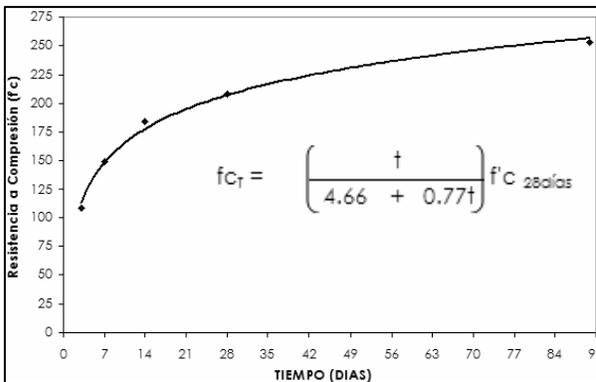


Fig. 4.2 Ecuación de cálculo de resistencia a edad t en concretos con agregados andesíticos

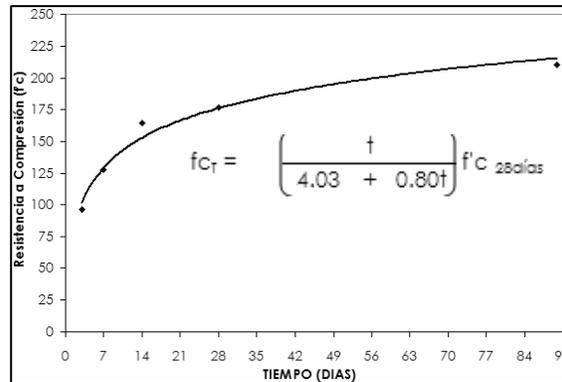


Fig. 4.3 Ecuación de cálculo de resistencia a edad t en concretos con agregado grueso calizo

Por lo tanto, se estima que a la edad de 365 días el CBR tendrá una resistencia a compresión simple con respecto a f'_{C} de 28 días, de:

- Concretos con agregados andesíticos, $1.28 f'_{C\ 28\ \text{días}}$
- Concretos con agregado grueso calizo, $1.23 f'_{C\ 28\ \text{días}}$

4.1.2 RESISTENCIA A TENSIÓN INDIRECTA (f'_T)

Con los resultados de los ensayos efectuados en CBR a edad de 28 días, se establecieron relaciones que se presentan en el apéndice 5. El nivel de resistencia que se alcanza en éstos concretos resulta ser 8.83% en CBR con agregado grueso andesítico y 10.04% en CBR con agregado grueso calizo, correspondiente a la relación entre la resistencia a la tensión y resistencia a la compresión, lo que hace constatar que existe mayor adherencia, entre la pasta cementante y los agregados, en los calizos triturados que en los andesíticos.

Las expresiones que permiten relacionar la resistencia a tensión indirecta con la resistencia a compresión simple son:

Concretos con agregados andesíticos, $f'_T = 1.26 \sqrt{f'_C}$

Concretos con agregados gruesos calizos, $f'_T = 1.36 \sqrt{f'_C}$

Donde:

f'_t = resistencia a tensión indirecta, en kg/cm^2

f'_c = resistencia a compresión a 28 días, en kg/cm^2

En la figura 4.4 se presentan dos ecuaciones, una para agregados gruesos andesíticos y otra para agregados gruesos calizos, para el cálculo aproximado de f'_t en concreto de baja resistencia:

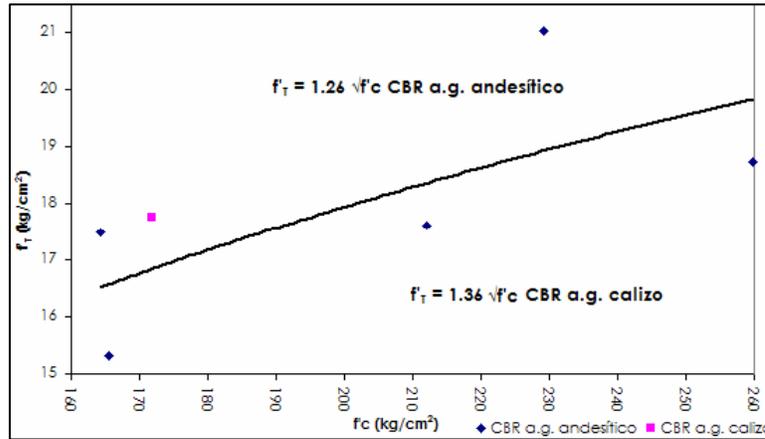


Fig. 4.4 Relación de f'_t y f'_c a 28 días

4.1.3 RESISTENCIA A TENSIÓN POR FLEXIÓN (M_R)

Para este ensaye, realizado a edad de 28 días, se establecieron las relaciones que se presentan en el apéndice 5. El parámetro de resistencia a tensión por flexión en relación con la de resistencia compresión simple, resulta un 18.05% en CBR con agregados andesíticos y 17.77% en CBR con agregado grueso calizo, por lo tanto se tiene un desempeño de los CBR con agregados andesíticos y calizos similar debido a su adherencia de la pasta de cemento con los agregados.



Fig. 4.5 Ensaye ASTM C-78. Viga de CBR de 15 cm X 15 cm X 60 cm.



Fig. 4.6 Viga ensayada fallando en su tercio medio trazado

Las expresiones que permiten relacionar la resistencia a tensión por flexión con la resistencia a compresión simple son:

Concretos con agregados andesíticos, $M_R = 2.22\sqrt{f_c}$ **Concretos con agregados gruesos calizos, $M_R = 2.44\sqrt{f_c}$**

Donde:

M_R = módulo de ruptura del concreto a tensión por flexión, en kg/cm²

f_c = resistencia a compresión a 28 días, en kg/cm²

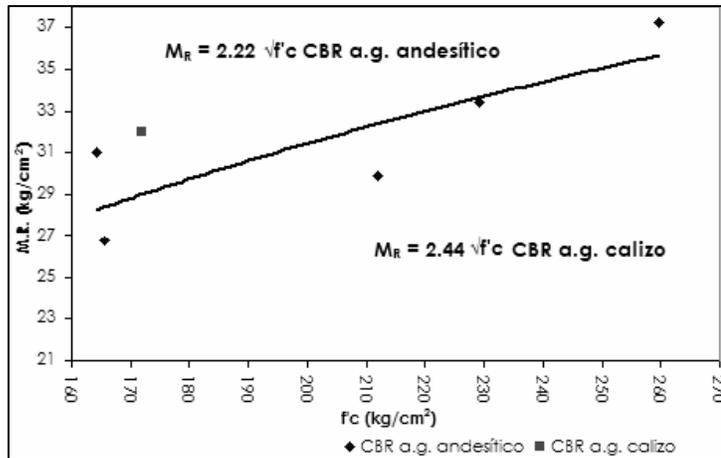


Fig. 4.7 Relación de M_R / f_c a 28 días

En el apéndice 5 se muestra a detalle los análisis de cada mezcla fabricada y muestreada.

4.1.4 MÓDULO DE ELASTICIDAD (E_c) Y RELACIÓN DE POISSON (μ)

4.1.4.1 MÓDULO DE ELASTICIDAD (E_c)

Un parámetro empleado en el diseño de estructuras es el módulo de elasticidad del concreto (E_c). En el apéndice 5 se agrega información que permite relacionar la resistencia a compresión simple del CBR con el módulo de elasticidad obtenidos a 28 y 90 días. En la fig. 4.8 se presentan esquemáticamente los resultados obtenidos de dichos ensayos, donde se puede observar que los resultados se relacionan entre sí, independientemente de la edad del concreto, cuando se realiza la prueba.

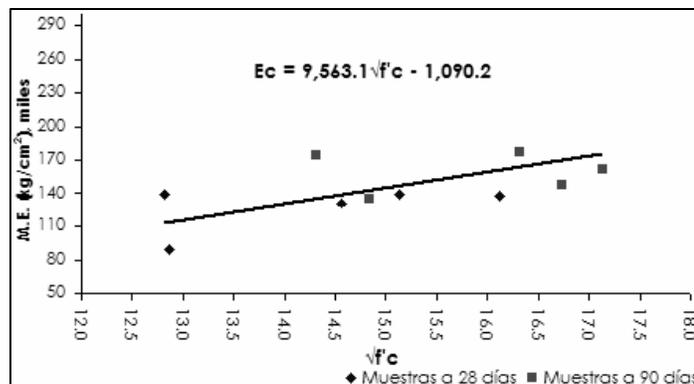


Fig. 4.8 Variación del módulo de elasticidad con la resistencia a compresión en CBR andesíticos

La expresión que permita estimar la tendencia media de estos resultados es:

Concretos con agregados andesíticos, $E_c = 9,487.81\sqrt{f'c}$

Concretos con agregados gruesos calizos, $E_c = 18,184.54\sqrt{f'c}$

Siendo:

E_c : módulo de elasticidad del CBR, en kg/cm^2

$f'c$: resistencia a compresión simple del CBR a edad de ensaye, kg/cm^2

TABLA 4.2 RESULTADOS MEDIOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYES DE E_c .

COLADO	Tiempo (días)	COMPRESIÓN (kg/cm^2)	M.E. (kg/cm^2)	$\sqrt{f'c}$	M.E. / $\sqrt{f'c}$
M-1	28	212.06	130,712.61	14.56	8,976.02
M-2		165.54	88,555.10	12.87	6,882.68
M-3		229.13	140,054.44	15.14	9,252.50
M-4		259.70	137,848.78	16.12	8,554.01
M-6		164.35	139,229.37	12.82	10,860.31
M-1	90	266.08	177,693.60	16.31	10,893.53
M-2		220.00	135,047.63	14.83	9,104.98
M-3		280.32	147,361.00	16.74	8,801.55
M-4		293.91	161,505.67	17.14	9,420.58
M-6		204.78	173,608.91	14.31	12,131.92
			PROMEDIO	15.08	9,487.81
M-5 CALIZA	28	171.94	240,764.69	13.11	18,362.95
M-5 CALIZA	90	210.11	260,999.42	14.50	18,006.14
			PROMEDIO	13.80	18,184.54

La desviación estándar (σ) resultante para CBR dentro de cada muestra a 28 y 90 días se presenta a continuación:

A) Agregado grueso calizo (una muestra):

TABLA 4.3 RELACIÓN DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR A 28 Y 90

MUESTRA	No. DE CILINDRO	F'c (kg/cm^2)	Relación de Poisson (μ)	M.E. (kg/cm^2)
A 28 DÍAS				
M-5	1	180.37	0.296	248,800.04
	2	158.59	0.278	235,677.68
	3	176.86	0.310	237,876.35
DESV. STD.:		11.69	0.016	7,028.01
A 90 DÍAS				
M-5	4	216.17	0.324	250,211.40
	5	207.04	0.275	258,544.16
	6	207.11	0.258	274,242.70
DESV. STD.:		5.25	0.034	12,202.34

B) Agregados andesíticos (cinco muestras):

TABLA 4.4 RELACIÓN DE DESV. ESTÁNDAR A 28 DÍAS

MUESTRA	No. DE CILINDRO	F'c (kg/cm ²)	Relación de Poisson (μ)	M.E. (kg/cm ²)
M-1	1	216.11	-	130,047.77
	2	209.41	-	133,645.49
	3	210.68	-	128,444.58
M-2	4	163.62	0.183	91,360.94
	5	169.85	0.153	89,087.28
M-3	6	163.17	0.147	85,217.09
	7	220.17	0.259	133,767.27
M-4	8	209.35	0.248	134,395.17
	9	257.86	0.185	152,000.89
M-6	10	263.97	0.288	136,421.76
	11	257.13	0.314	142,252.80
M-6	12	257.99	0.255	134,871.79
	13	156.58	0.241	147,480.72
M-6	14	162.22	0.219	128,187.76
	15	174.26	0.250	142,019.64
DESV. STD.:		39.66	0.052	21,150.92

TABLA 4.5 RELACIÓN DE DESV. ESTÁNDAR A 90 DÍAS

MUESTRA	No. DE CILINDRO	F'c (kg/cm ²)	Relación de Poisson (μ)	M.E. (kg/cm ²)
M-1	4	240.12	0.101	153,836.46
	5	269.81	0.310	189,789.09
	6	261.34	0.348	189,455.26
M-2	10	205.50	0.219	144,240.04
	11	238.58	-	159,561.43
	12	217.79	-	133,391.51
M-3	13	201.04	-	102,997.52
	17	231.08	0.201	122,484.47
	18	238.24	0.270	153,973.03
M-4	19	225.04	0.299	145,876.52
	20	233.66	-	148,312.41
	21	293.73	-	164,602.02
M-4	22	233.98	-	148,917.58
	26	292.45	0.248	152,843.33
	27	314.95	0.321	162,066.39
M-6	28	292.61	0.242	169,607.30
	32	207.73	0.303	182,292.03
	33	187.07	0.295	157,095.49
M-6	34	210.52	0.262	178,111.57
	35	210.52	0.291	176,936.54
DESV. STD.:		35.93	0.062	21,750.24

4.1.4.2 RELACIÓN DE POISSON (μ)

Para la determinación de ésta propiedad llamada relación de Poisson de los CBR se realizaron ensayos a 28 y 90 días, cuyos resultados se presentan en las tablas 4.6 y 4.7; para concretos con agregados calizos y concretos con agregados gruesos andesíticos, respectivamente.

A) Agregado grueso calizo:

TABLA 4.6 VARIACIÓN DE LA RELACIÓN DE POISSON CON F'c

COLADO	Tiempo (días)	COMPRESIÓN (kg/cm ²)	Relación de Poisson
M-5 _{CALIZA}	28	171.94	0.295
M-5 _{CALIZA}	90	210.106	0.286

B) Agregados andesíticos:

TABLA 4.7 VARIACIÓN DE LA RELACIÓN DE POISSON CON F'c

COLADO	Tiempo (días)	COMPRESIÓN (kg/cm ²)	Relación de Poisson
M-2	28	165.54	0.161
M-3		229.13	0.230
M-4		259.70	0.286
M-6		164.35	0.237
M-1	90	266.08	0.253
M-2		220.00	0.219
M-3		280.32	0.257
M-4		293.91	0.271
M-6		204.78	0.288

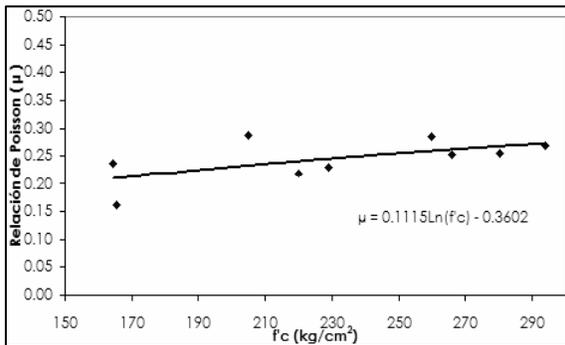


Fig. 4.9 Relación de f'c y coeficiente de Poisson en concretos con agregados andesíticos a 28 y 90 días

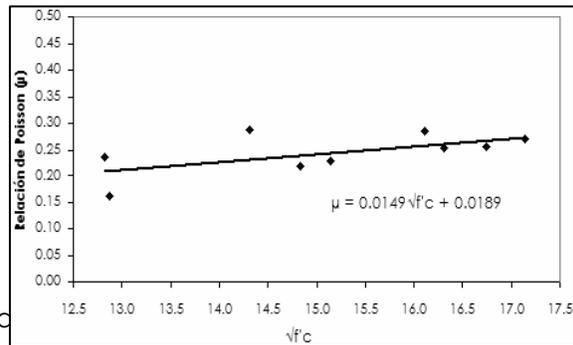


Fig. 4.10 Relación de √f'c y coeficiente de Poisson en concretos con agregados andesíticos a 28 y 90 días

Concretos con agregados andesíticos, $\mu = 0.199$ a 28 días
 $\mu = 0.270$ a 90 días
Concretos con agregados gruesos calizos, $\mu = 0.295$ a 28 días
 $\mu = 0.286$ a 90 días

Siendo:

μ : es la relación de Poisson, adimensional

$f'c$: resistencia a compresión simple del CBR a la edad de ensaye, kg/cm²

4.1.5 RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA PERMEABILIDAD DE LOS CLORUROS

La permeabilidad del concreto al ión cloruro depende principalmente de la estructura interna de poro.

La estructura de poro depende a su vez de otros factores tales como la relación agua/cementante, el grado de hidratación del cemento, las condiciones de curado, el uso de otros materiales cementantes y de las prácticas constructivas. Por lo tanto, el riesgo potencial de la corrosión inducida por el ión cloruro en el concreto se debe evaluar por medio de la permeabilidad a los cloruros.

La corrosión del acero de refuerzo debida al acceso de cloruros en el concreto, es uno de los ataques más comunes que llevan al deterioro de estructuras de concreto reforzado.

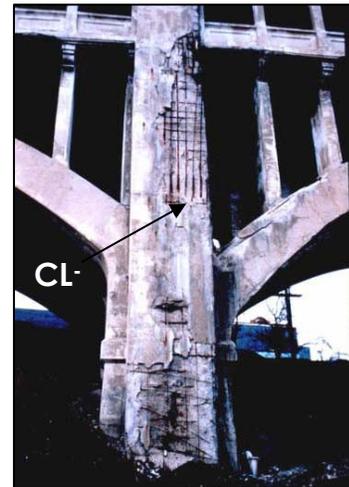


Fig. 4.11 Ataque del ión cloruro en el concreto



Fig. 4.12 y 4.13 Ataque del ión cloruro en el concreto en distintas obras con acero de refuerzo

Los cloruros penetran al concreto a través de una variedad de mecanismos: absorción capilar, presión hidrostática, difusión, y transporte evaporador; de éstos, la difusión es predominante. La difusión ocurre cuando la concentración de cloruro por fuera del miembro de concreto es mayor que por dentro.

Las expresiones que permite deducir las tendencias medias de la penetración del ión cloruro en concreto de baja resistencia (CBR) son:

A) A 28 días

Concretos con agregados andesíticos, Coulombs (C) = 3,263.9 Ln(A/C) + 7,440.1
Concretos con agregados gruesos calizos, Coulombs (C) = 5,783

B) A 90 días

Concretos con agregados andesíticos, Coulombs (C) = -944.34 Ln(A/C) + 2,988.2
Concretos con agregados gruesos calizos, Coulombs (C) = 2,623

Siendo:

C: amperes por segundos que recibe la probeta de concreto, Coulombs

A/C: es la relación agua/cementante de la dosificación del concreto, adimensional

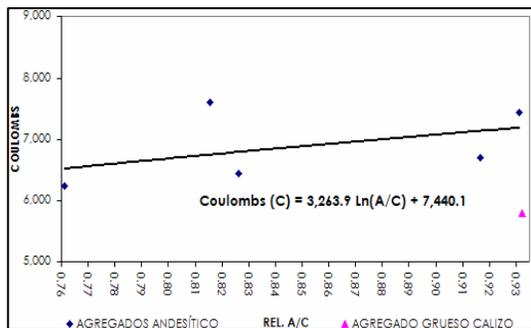


Fig. 4.14 Ensaye ASTM C-1202 A 28 días

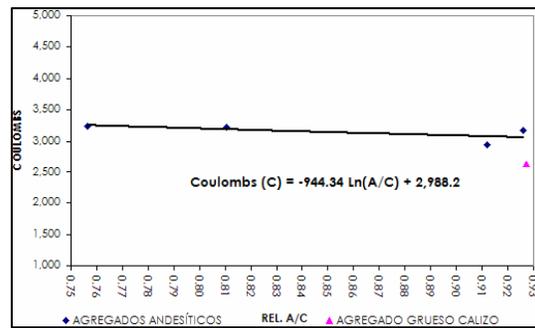


Fig. 4.15 Ensaye ASTM C-1202 A 90 días

Cabe hacer mención que los concretos ya sea con agregados gruesos calizos o andesíticos tienen una permeabilidad alta a 28 días, con relaciones A/C que oscilan entre 0.845 y 0.927, pero a 90 días tiende a clasificarse con una permeabilidad moderada por lo que resultan adecuados para ambientes ligeramente agresivos (B1)¹³.

TABLA 4.8 RELACIÓN DE CANTIDAD DE COULOMBS Y f'c EN CONCRETOS CON AGREGADOS ANDESÍTICOS

Concreto CBR a 28 días		
f'c	A/C	Coulombs
150	0.955	7,288
200	0.856	6,934
Concreto CBR a 90 días		
f'c	A/C	Coulombs
150	0.955	3,032
200	0.856	3,135

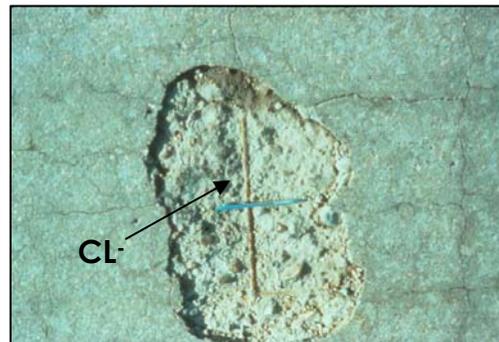


Fig. 4.16 Penetración del ión cloruro en el concreto

En el caso del CBR con relaciones A/C de 0.856 a 0.955 estimadas a partir de las expresiones arriba mencionadas se presentaría a 28 días una alta permeabilidad a los

¹³ Ver tabla 4.1 pág 25 y 4.5 en pág. 26

iones de cloruro debido a que sus poros aun permanecen abiertos. Caso contrario, en las mismas relaciones A/C pero a 90 días la permeabilidad resulta moderada.

En los ensayos a 90 días se presenta una tendencia prácticamente constante en la permeabilidad al ión cloruro cuando la relación A/C varía entre 0.756 a 0.927. Para los ensayos a 28 días se incrementa con un aumento en la relación A/C.

4.1.6 CONTRACCIÓN POR SECADO (ϵ_u)

En la estimación de los valores de contracción por secado última (ϵ_u) se parte del registro de las lecturas a 20 semanas de exposición a ambiente seco. En la tabla 4.9 se presentan las ecuaciones para predecir la contracción a t días y se estima ϵ_c a 365 días en concreto de baja resistencia. Cabe señalar que la mezcla 5 fabricada el 10 de Nov 06 es con agregado grueso calizo y las demás mezclas con agregados andesíticos.

TABLA 4.9 ECUACIONES PARA PREDICCIÓN DE CONTRACCIÓN POR SECADO

FECHA	ECUACION PARA PREDECIR LA CONTRACCIÓN		A/C	$\epsilon_c \times 10^{-6}$ a 365 días
MEZCLA 1 (17/AGO/05)	$(\epsilon_s)_t =$	$\left(\begin{matrix} \dagger \\ 23.12 + \dagger \end{matrix} \right)$	0.810	1,425.14
MEZCLA 2 (30/AGO/05)	$(\epsilon_s)_t =$	$\left(\begin{matrix} \dagger \\ 23.84 + \dagger \end{matrix} \right)$	0.926	1,560.51
MEZCLA 3 (22/SEP/05)	$(\epsilon_s)_t =$	$\left(\begin{matrix} \dagger \\ 10.29 + \dagger \end{matrix} \right)$	0.821	1,274.21
MEZCLA 4 (24/OCT/05)	$(\epsilon_s)_t =$	$\left(\begin{matrix} \dagger \\ 10.48 + \dagger \end{matrix} \right)$	0.756	1,285.29
MEZCLA 5 (10/NOV/05)	$(\epsilon_s)_t =$	$\left(\begin{matrix} \dagger \\ 15.83 + \dagger \end{matrix} \right)$	0.927	853.85
MEZCLA 6 (15/NOV/05)	$(\epsilon_s)_t =$	$\left(\begin{matrix} \dagger \\ 18.01 + \dagger \end{matrix} \right)$	0.912	1,209.21

Como se observa en las ecuaciones las mezclas 5 y 6 presentan menor contracción con respecto a las mezclas 1 a 4.

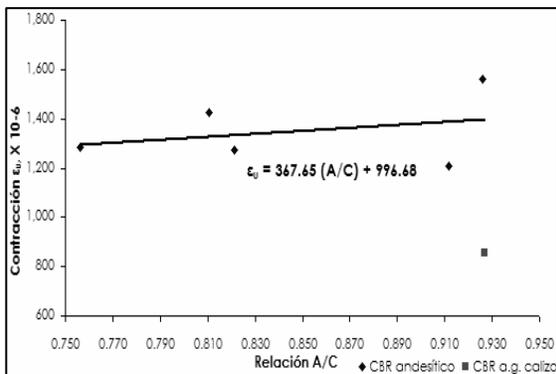


Fig. 4.17 Variación de la contracción por secado con respecto a la relación A/C

También cabe señalar que las contracciones varían en un intervalo de 428.95×10^{-06} a 7 días y $1,350.87 \times 10^{-06}$ estimado a 365 días como promedio de las mezclas 1 a 4 y 6 en concretos con agregados andesíticos. En el CBR con agregados gruesos calizos de la mezcla 5 - 10 Nov 06-, la contracción a 7 y 365 días fueron en 273.19×10^{-06} y 853.85×10^{-06} , respectivamente, con consumos de cementante de $207.11, \text{ kg/m}^3$ en promedio.

En la tabla 4.10 se presenta las contracciones por secado, el porcentaje de reducción y la relación A/C en promedio de los CBR con agregados andesíticos (Mezcla 1-4 y 6) y el CBR con agregado grueso calizo (Mezcla 5).

TABLA 4.10 DATOS RELEVANTES DE LA CONTRACCIÓN POR SECADO DE MEZCLAS DE CBR

Relación Agua/Cementante	0.927	0.845
Cambio de longitud del espécimen a edad de 20 semanas	0.079%	0.125%
Contracción por Secado de Prismas de 75 x 75 mm x 285 mm	MEZCLA 5 (10/NOV/05)	AGREGADOS ANDESITICOS
$\epsilon_{\text{última}}$ 7 días, millonésimos	273.19	428.95
$\epsilon_{\text{última}}$ 14 días, millonésimos	418.15	650.60
$\epsilon_{\text{última}}$ 28 días, millonésimos	569.15	884.08
$\epsilon_{\text{última}}$ 56 días, millonésimos	694.57	1,083.86
$\epsilon_{\text{última}}$ 90 días, millonésimos	757.64	1,187.46
$\epsilon_{\text{última}}$ 180 días, millonésimos	818.87	1,290.63
$\epsilon_{\text{última}}$ 365 días, millonésimos	853.85	1,350.87

En concretos de alta resistencia con consumos de cementante promedio de 500 kg/m^3 su rango de contracción por secado último oscila en 445×10^{-6} a 588×10^{-6} con agregados gruesos calizos. También con agregados gruesos basálticos con consumos de cementante de 450 kg/m^3 se obtuvieron contracciones ϵ_u de 584×10^{-6} a 693×10^{-6} .

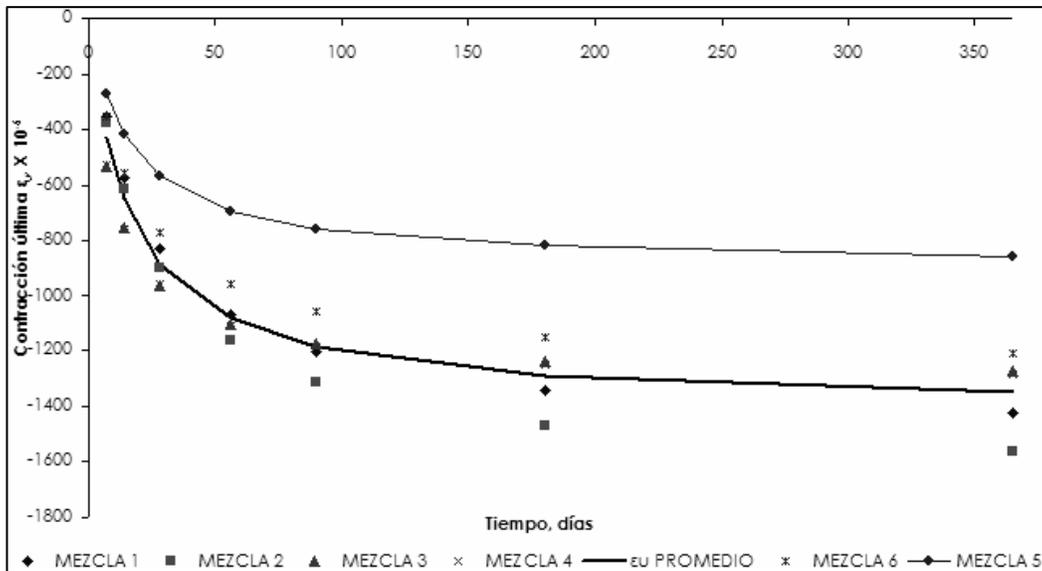


Fig. 4.18 Variación de la contracción por secado última (ϵ_u) con el tiempo (t)

4.1.7 DEFORMACIÓN DIFERIDA (C_t)

Como se explicó anteriormente, la deformación diferida esta en función de su coeficiente el cuál se calcula mediante la relación que existe entre la deformación diferida y la instantánea, determinándose la deformación diferida igual a la deformación total en el tiempo menos la deformación instantánea.

En el presente estudio se determinan dos mezclas con diferente agregado grueso, la mezcla 2 y la mezcla 5, tabla 4.11.

TABLA 4.11 RESULTADOS DE LA DEFORMACION DIFERIDA EN DOS TIPOS DE MEZCLAS

	MEZCLA 2 (30/AGO/05) AGREGADOS ANDESÍTICOS	MEZCLA 5 (10/NOV/05) A. GRUESO CALIZO
Tipo de Mezcla		
Cementante (kg/m ³)	176.00	202.35
Agua (kg/m ³)	163.00	164.08
$\epsilon_t \times 10^{-06}$ a 20 semanas	653.33	606.67
C_t a 20 semanas	1.37	2.61

Los valores de contracción por secado (ϵ_t) y los coeficientes de deformación diferida (C_t) presentados anteriormente se calculan a partir de los resultados a 20 semanas.

El coeficiente de deformación diferida (C_t) a un año para los CBR con agregados andesíticos resulta menor ($C_t = 1.84$) que los CBR con agregado calizo ($C_t = 3.49$), los cuales se presentan en la tabla 4.12.

TABLA 4.12 EXPRESIONES PARA PREDECIR C_t EN EL CBR

FECHA	ECUACIÓN PARA PREDECIR EL FLUJO PLÁSTICO (CREEP)	C_u	A/C	C_t a 365 días
MEZCLA 2 (30/AGO/05)	$C_t = \left[\frac{f^{0.6}}{29.50 + f^{0.6}} \right]$	3.41	0.926	1.84
MEZCLA 5 (10/NOV/05)	$C_t = \left[\frac{f^{0.6}}{25.10 + f^{0.6}} \right]$	6.03	0.927	3.49

4.1.7.1 FACTOR DE CORRECCIÓN

El factor de corrección se emplea debido a que la carga de los especímenes de las mezclas de concreto 2 y 5 en el marco se hizo a una edad posterior a los 28 días, por tanto se emplea la siguiente expresión¹⁴:

$$\text{Creep (F.C.)}_{LA} = 1.25 f_{LA}^{-0.118}$$

Donde:

t_{LA} = es la edad de carga en días

¹⁴ ACI, *Designing for Effects of Creep, Shrinkage Temperature in Concrete Structures*, 1ra Edición, Ed. ACI, Estados Unidos de América, 1972, 430 pág., Pág. 57

Los coeficientes de deformación diferida (C_u corregido) se muestran en la tabla 4.13 a continuación:

TABLA 4.13 CORRECCIÓN DE COEFICIENTE DE DEFORMACIÓN DIFERIDA (C_u)

FECHA	A/C	F.C.	C_u	C_u CORREGIDO
MEZCLA 2 (30/AGO/05)	0.926	0.806	3.41	4.23
MEZCLA 5 (10/NOV/05)	0.927	0.96	6.03	6.25

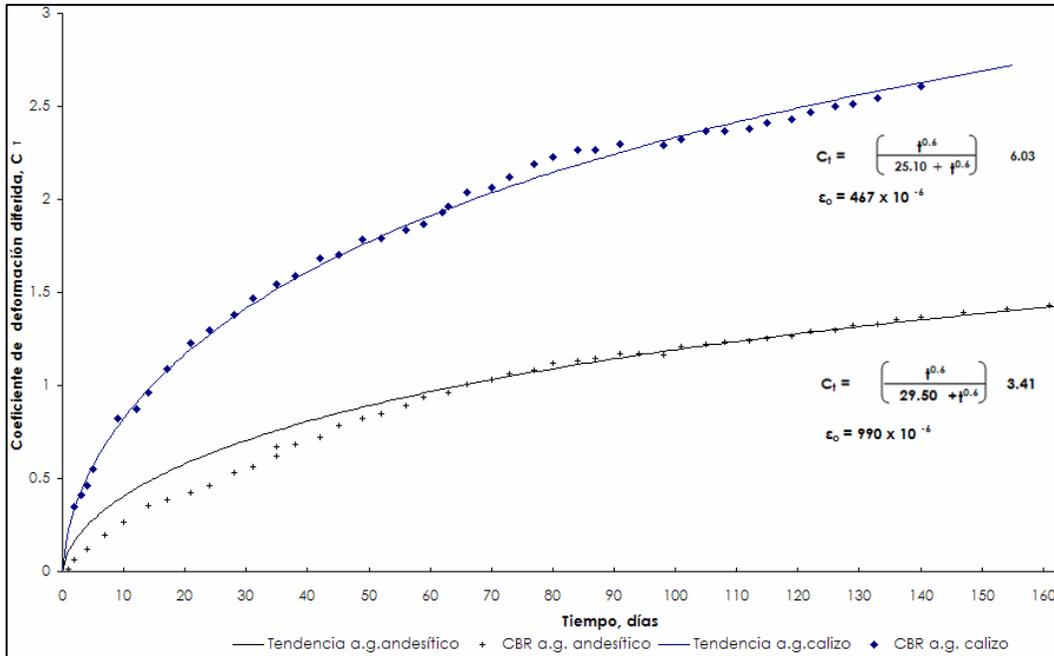


Fig. 4.19 Variación del coeficiente de deformación diferida (C_t) con respecto al tiempo

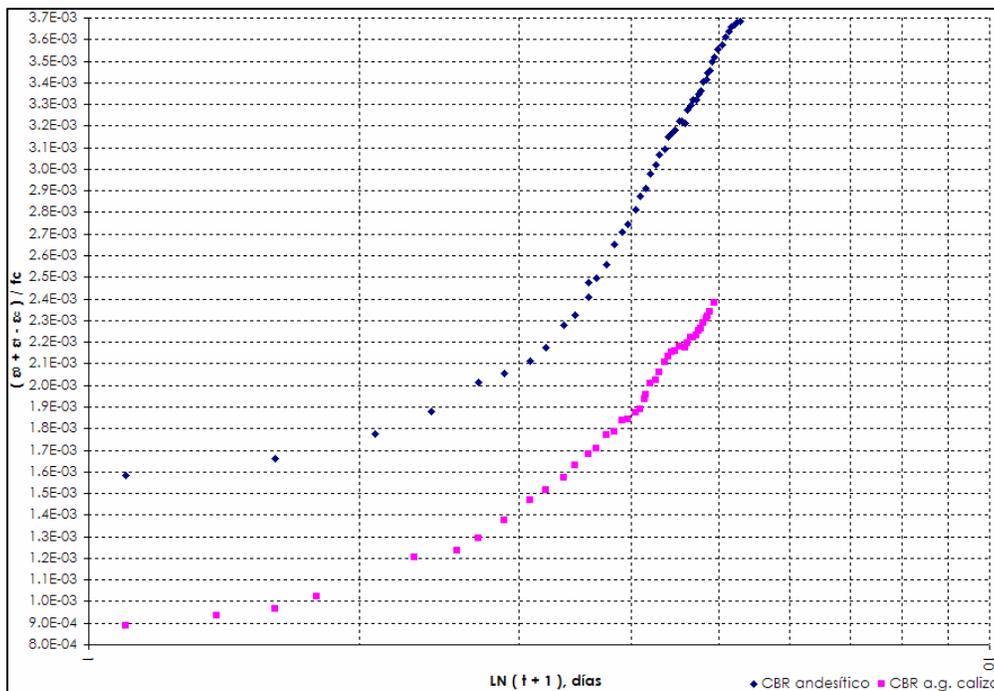


Fig. 4.20 Variación de $(\epsilon_0 + \epsilon_1 - \epsilon_c) / f_c$ con respecto al logaritmo natural del tiempo $LN(t + 1)$, días

CONCLUSIONES.

- En éste capítulo se exponen los resultados producto del presente estudio, en el cual cabe destacar los siguientes conclusiones:
 - Los CBR con agregados andesíticos experimentan mayor incremento de resistencia a compresión simple a 90 días, con 25%, que los CBR con agregados gruesos calizos, con 19%, respecto a $f'c$ a 28 días, debido a la textura del agregado y a que gobierna la pasta del cemento.
 - Cabe mencionar que en los CBR la resistencia a tensión por flexión y resistencia a tensión indirecta la resistencia de los agregados ya sean calizos o andesíticos, no influyen significativamente en la resistencia mecánica debido a que falla antes la adherencia agregado-pasta de cemento.
 - La resistencia del CBR a la permeabilidad de los cloruros es menor a 28 días con respecto a la de 90 días, debido a que a la edad de 28 días los poros están abiertos.
 - A medida que disminuye la relación agua/cementante baja el grado de permeabilidad a los cloruros. Esto se debe a que la resistencia a la compresión aumenta y ésta, está ligada a la permeabilidad del material.
 - En lo que concierne a los cambios volumétricos:
 - La contracción por secado, a mayor relación A/C mayor es su contracción, para ambos tipos de agregados; sin embargo en las mezclas con agregados gruesos calizos la contracción es menor que la alcanzada en las mezclas con agregado andesítico.
 - La deformación diferida de los CBR con agregados calizos presenta menor deformación diferida respecto a la alcanzada en los CBR con agregado andesítico.
-

CAPITULO 5.

APLICACIONES Y ÁREA DE INFLUENCIA DEL CONCRETO DE BAJA RESISTENCIA

INTRODUCCIÓN

Como se mencionó anteriormente de esta investigación, en reglamentos vigentes de la República Mexicana, como son N.T.C., del R.C.D.F. y Normas Mexicanas principalmente, no se especifica un apartado en el cual se indique de manera precisa las características de éstos concretos.

Por éste motivo es de vital importancia estandarizar la fabricación del concreto de baja resistencia empleado en viviendas de interés social.

Tal importancia recae en el aumento de la población próxima a formar nuevos hogares, la cual, al 2030 se estima de 87.4 millones (CONAFOVI) los que demandarán vivienda de interés social, de acuerdo al nivel económico del país.

5.1 BENEFICIOS DE LA ESTANDARIZACIÓN DEL CBR EN LA VIVIENDA

Existen tres aspectos importantes en los que tiene influencia la estandarización del concreto de baja resistencia, los cuales se mencionan a continuación con sus características relevantes.

5.1.1 Tecnología

El conocimiento del concreto de baja resistencia permite construir las estructuras en cualquier circunstancia, ya que permite fabricar, manejar, transportar, colocar, vibrar y curar el concreto adecuadamente, e implementar un control de calidad en cada etapa.

Al ingeniero estructural, experto en el análisis y diseño, le ayudará a dar soluciones analíticas, conociendo los parámetros, características y limitaciones del concreto de baja resistencia, de manera que pueda extraer el mayor beneficio del material.

El ingeniero constructor, con previo conocimiento del concreto, puede tomar medidas para colar concretos en climas templados, fríos y cálidos, así como diseñar las mezclas de concreto para las condiciones existentes y al mismo tiempo optimizar los recursos materiales, obteniendo como resultado un concreto de calidad adecuada al proyecto.

5.1.2 Durabilidad

Es una importante cualidad que deberá tener la vivienda fabricada con este tipo de concreto; se supone que la durabilidad depende de la resistencia: si se tiene un excelente diseño de los elementos estructurales de la vivienda, un control de calidad adecuado en la selección de materiales, fabricación, colocación, compactación y curado del concreto, se extenderá su durabilidad.

La durabilidad del concreto es un problema que afecta a las estructuras, que implica factores intrínsecos y extrínsecos que exigen un conocimiento por parte del diseñador de los fenómenos químicos y físicos de la interrelación entre el concreto y el medio ambiente.

La vivienda en México fabricada con concreto armado o acero debe garantizar 30 años de vida útil; esto lo especifican las instancias de financiamiento en México (Sociedades Financieras de Objeto Limitado, Sofoles o sucursales bancarias) que ofrecen créditos dirigidos a la adquisición de viviendas nuevas y usadas.

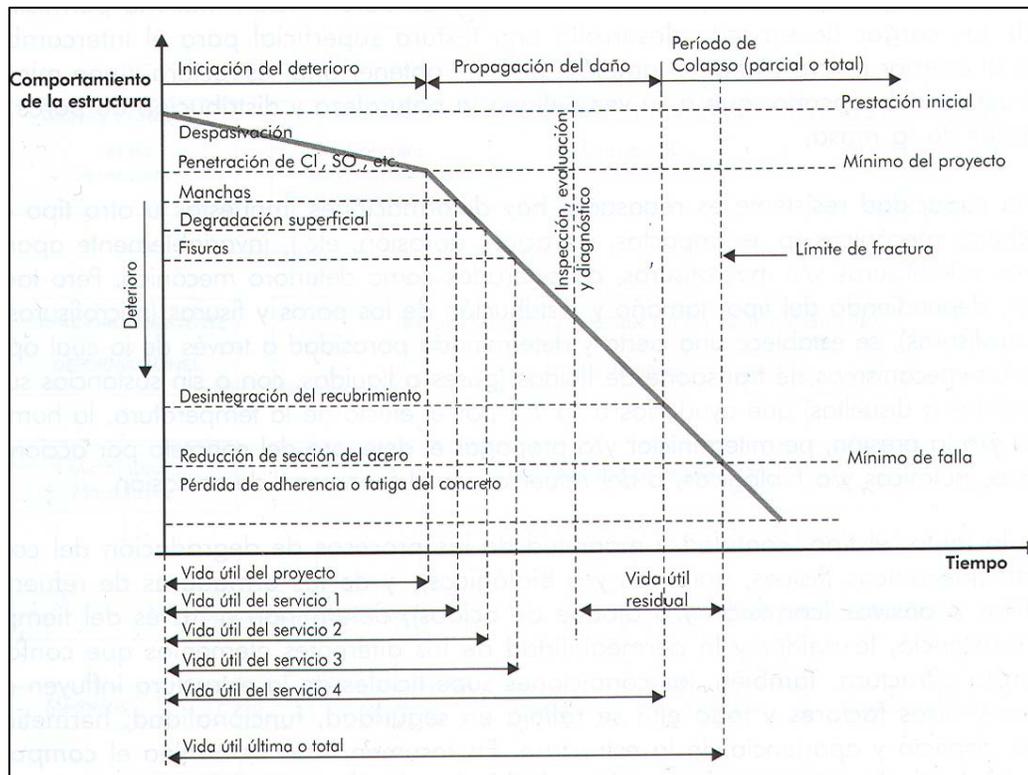


Fig. 5.1 Relación entre el comportamiento del concreto y la vida útil de la estructura.

En la fig. 5.1 se presenta el comportamiento tipo de una estructura de concreto a través del tiempo, se observa la línea deterioro-tiempo originada en base al daño sufrido y al tiempo transcurrido.

Este tipo de análisis es importante ya que es parte intrínseca de toda estructura de concreto, identificándose las cuatro vidas útil:

- La *vida útil del proyecto*, como el período de tiempo necesario, que ha previsto el diseñador estructural, para que un agente agresor dé inicio al deterioro del concreto.
- La *vida útil de servicio*, como el período de tiempo en que se inicia desde la ejecución de la estructura hasta que se completa un cierto y determinado nivel aceptable de deterioro.
- La *vida útil última*, como el período de tiempo que va desde que se inicia la ejecución de la estructura hasta que se presenta su colapso parcial o total.
- La *vida útil residual*, si durante la vida en servicio de una estructura se realiza una inspección, una evaluación y un diagnóstico, a partir de ellos, se puede determinar con aproximación ésta.

5.1.3 Economía

Es una fortaleza del concreto que se emplea en la vivienda de interés social considerando que la carga en sus elementos estructurales se limita, en los conjuntos habitacionales a 2 o 3 niveles.



Fig. 5.2 Viviendas de interés social, Tecamác, Estado de México, vivienda de 2 niveles (izquierda), vivienda de 3 niveles (derecha)

Puntos de cuidado en el empleo del concreto de baja resistencia:

- Selección adecuada de los materiales para la fabricación.
- Procedimiento calificado y respaldado mediante normas en cuestión de fabricación, transporte, sistema de colocación, vibrado, curado.
- Optimización del diseño estructural empleando las características del concreto adecuadamente.
- Es conveniente dar mantenimiento preventivo a la vivienda durante su servicio para prolongar su vida útil.

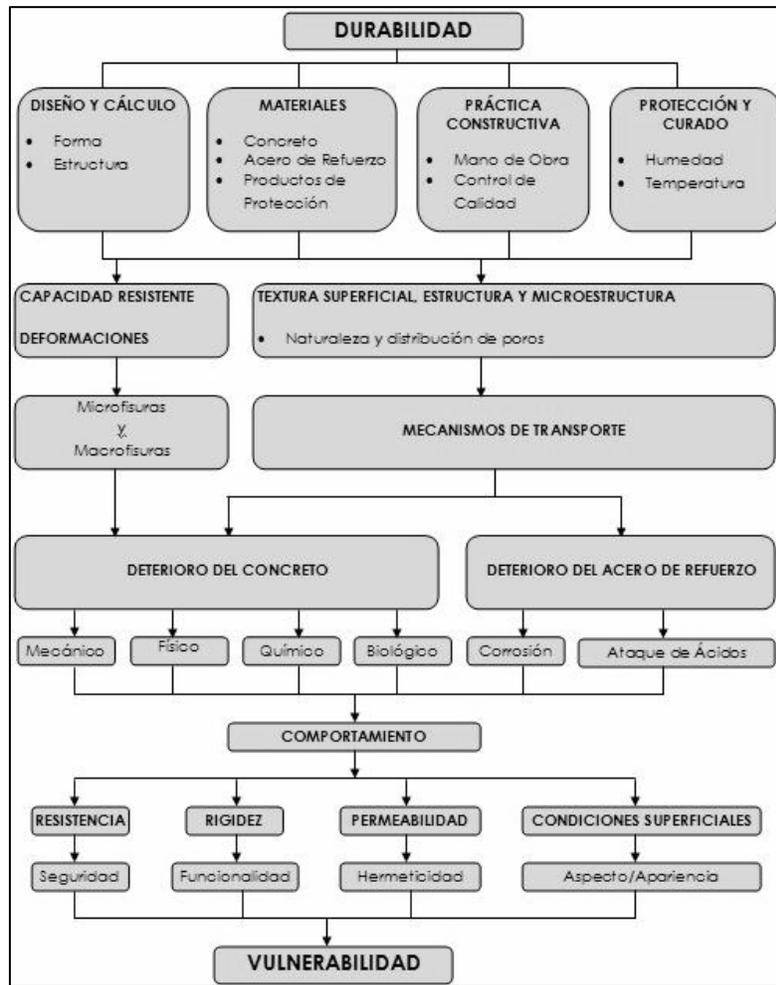


Fig. 5.3 Relación entre los conceptos de durabilidad y comportamiento del concreto.

La economía de toda estructura de concreto, y en especial en la vivienda de interés social depende de la durabilidad del concreto, ya que desde el diseño, sus materiales y mano de obra se optimiza para lograr ésta finalidad.

En la fig. 5.3 se hace referencia a los factores relacionados con la durabilidad y mecanismos de deterioro del concreto reforzado, desde la selección de materiales, diseño y método de construcción, hasta los factores que lo hacen vulnerable.

5.1.4 Calidad de la Vivienda

La buena calidad de la vivienda de interés social está asociada no solo con el procedimiento constructivo, si no también con el mantenimiento preventivo que reciba durante su vida útil. Es importante considerar que no por ser una vivienda económica se pretenda que sea una vivienda de baja calidad, puesto que si se construye de manera responsable se obtendrá una calidad comparable con una residencia de mayor costo.

5.1.5 Bosquejo del procedimiento constructivo

En este tipo de proyectos, debido al bajo costo de la vivienda, se busca construir el mayor número posible, por lo que se desarrollan en zonas susceptibles a expandirse.



Fig. 5.4 Trazo, desmonte, despalme y nivelación de terreno a construir.



Fig. 5.5 Losa de cimentación con malla electrosoldada como refuerzo en muros.



Fig. 5.6 Continuidad en 2do nivel de la malla de refuerzo en muros de concreto



Fig. 5.7 Colocación del concreto en muros de espesor de 10 con cimbra metálica.



Fig. 5.8 Obra negra de conjunto habitacional



Fig. 5.9 Vivienda de interés social concluida

5.2 PERSPECTIVAS, TENDENCIAS Y LIMITACIONES ESTRUCTURALES DEL CBR

5.2.1 Perspectivas

La innovación en las tecnologías del concreto, como maquinaria, equipo e insumos del proceso constructivo ha traído consigo un efecto positivo, pues es necesario la capacitación y calificación del personal de obra para la optimización y eficiencia de los recursos.

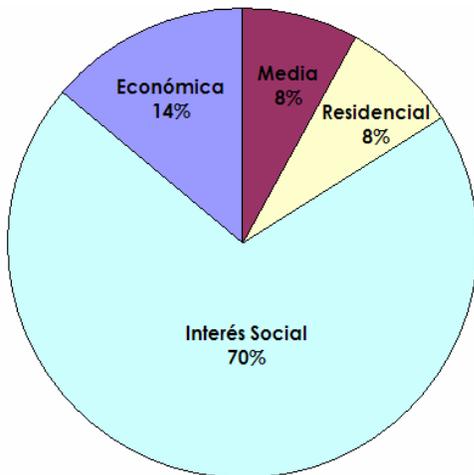


Fig. 5.11 Demanda por tipo de vivienda.

Según informes del INEGI el segmento de la edificación de viviendas de interés social, económica, media y residencial son columna vertebral en el crecimiento de la industria de la construcción, con un 47.6% del valor total de su producción, como resultado de los nuevos mecanismos de financiamiento, programas accesibles que permiten la adquisición de vivienda digna al estrato medio de la población.

La vivienda de interés social en el mercado tuvo una demanda del 70% en el 2005, fue la de mayor oferta entre los desarrolladores, obteniendo un incremento de 13.5% del 2004 al 2005.

De acuerdo a estadísticas del IMCYC se observa, en el periodo 2004-2005, un desplazamiento del empleo del block de concreto por el concreto monolítico¹⁴.

La vivienda de interés social construida monolíticamente con concreto agiliza los sistemas constructivos, disminuye los costos directos e indirectos, e incrementa el beneficio para los desarrolladores y a su vez al destinatario final.

El empleo de concreto monolítico requiere de más personal calificado (ingenieros, arquitectos, técnicos, etc.) que operativo (personal de obra) debido al cambio a procedimientos constructivos más tecnificados.

La construcción de viviendas en la República Mexicana se concentra de acuerdo con la tabla 5.1, en diez estados.

TABLA 5.1 CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA EN MÉXICO

Posición	Entidades	(%)
1	Distrito Federal	15.7
2	Estado de México	10.1
3	Nuevo León	8.9
4	Jalisco	7.3
5	Baja California Norte	6.3
6	Chihuahua	5.1
7	Tamaulipas	4.6
8	Guanajuato	3.4
9	Coahuila	2.5
10	Sonora	2.5

5.2.2 Tendencias

Hoy en día la construcción típica artesanal ha sido relegada por la evolución de técnicas y materiales de construcción; se observa estadísticamente una disminución en el empleo de block con respecto al concreto. Hace 10 años dominaba el uso del block en casi 100% pero en 2006 se tienen 40% concreto y 60% block.

¹⁴ Concreto monolítico: concreto en pisos, muros y losa colados en conjunto o en diferente etapa.

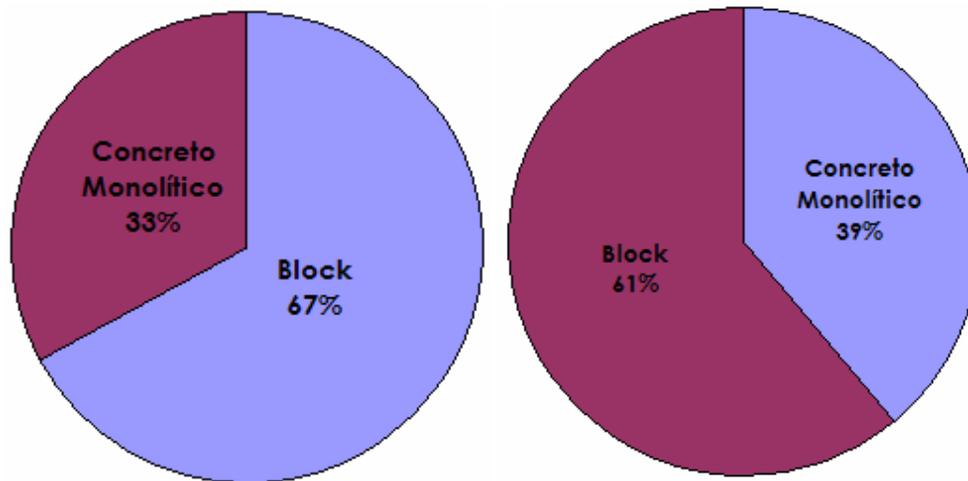


Fig. 5.12 Tipos de concreto empleado en la construcción de viviendas de interés social en el año 2004 (izquierda) y año 2005 (derecha).

Con el antecedente señalado, es relevante comentar que se va en dirección hacia métodos más tecnificados, menores tiempos de ejecución, reducción de personal de obra y menos piezas de construcción.

La tendencia en la construcción de vivienda de interés social es la utilización de cimbra metálica y concreto monolítico.

En los sistemas de construcción con concreto monolítico se emplea moldes o cimbra metálica con la que se requiere mano de obra más especializada y decremento en el tiempo de construcción. Las ventajas principales de éste sistema a pesar que es mayor el costo de éste tipo de cimbra, es su rentabilidad originada por el cuidado, rapidez de colocación y usos dados.



Fig. 5.13 Moldes metálicos para concreto monolítico en muros y losas en Viviendas de interés social.

El uso del concreto de baja resistencia tiene como ventajas adicionales en la construcción de viviendas de interés social las indicadas a continuación:

- Calidad en el proceso constructivo y eficiencia en el uso de los recursos destinados

- Mejora continua en el proceso y reducción de desperdicios
- Mayor rapidez en el avance, tiempo de ejecución y menor costo de obra
- Optimización de la estructura técnico-administrativa para la supervisión y coordinación de los trabajos de la obra
- Optimización de recursos humanos y maquinaria
- Versatilidad y facilidad en los sistemas constructivos

5.2.3 Limitaciones

El concreto de baja resistencia empleado en vivienda de interés social tiene requisitos mínimos y si el diseño tanto estructural como de concreto es el adecuado no presentará problemas futuros.

En cuanto a sus limitantes en comparación con otros concretos con resistencias mayores a 200 kg/cm² se presentan las más relevantes:

- Resistencia a compresión se limita a 200 kg/cm²,
- Mayor contracción por secado en CBR con a.g. andesíticos, los fabricados con a.g. calizo tiende a ser similares a los concretos de alta resistencia fabricados con a. g. basálticos.
- Coeficientes de deformación diferida mayores a concretos de alta resistencia
- Bajo módulo de elasticidad
- Alta permeabilidad a los iones de cloruros
- Baja resistencia a la tensión
- Baja resistencia a condiciones ambientales severas

5.3 NECESIDAD DE FUTURAS INVESTIGACIONES

La creciente demanda de vivienda de interés social en los sectores de la población exige mayor calidad en el producto terminado, optimizar el uso de los materiales, reducir mano de obra, incrementar la velocidad en el avance de obra, aumentar la durabilidad de los materiales; todo esto conlleva a buscar nuevos materiales, cimbras, métodos y procedimientos constructivos, etc. Con los antecedentes aquí presentados, se vislumbra al concreto de baja resistencia como el material número uno para vivienda de interés social, por lo que se hace evidente la necesidad de profundizar en su conocimiento.

Buscar el concreto ideal en cuanto comportamiento y características es una tarea pendiente de realizar.

CONCLUSIONES.

- Es clara la importancia de desarrollar y ampliar el conocimiento de los CBR dado que por su situación actual y futura, la demanda en el país se incrementará. Asimismo, se requiere desarrollar nuevas técnicas y procedimientos de construcción, relacionados con la producción, fabricación y manejo de éste tipo concreto.
 - La durabilidad del CBR es un problema que afecta a la vivienda económica, que implica factores intrínsecos y extrínsecos; que exigen un conocimiento por parte del diseñador de los fenómenos químicos y físicos de la interrelación entre el CBR en la vivienda y el medio ambiente. Identificando y solucionando los factores en cada situación se genera un incremento en la durabilidad de la vivienda de interés social.
 - También cabe hacer mención que con la creación de tecnología en el ámbito constructivo se mejoran los tiempos y disminuyen los costos, dando una mejor alternativa en el desarrollo de vivienda económica.
 - Las limitaciones del CBR son relativas, y se pueden subsanar siempre y cuando sea empleado adecuadamente para cada tipo de obra.
 - Es de importancia considerar que una vivienda económica no necesariamente es una vivienda de baja calidad, puesto que si se proyecta, desarrolla, diseña y construye de manera responsable se obtendrá una calidad comparable con una vivienda de mayor costo.
-

CAPITULO 6.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

En la presente investigación se estudiaron las propiedades físicas y mecánicas de los concretos de baja resistencia empleado en las viviendas de interés social; de los resultados de este estudio experimental se concluye lo siguiente:

- 6.1.1 Se muestrearon tres mezclas en campo y se fabricaron tres mezclas en laboratorio con características similares a las de campo con fin de estudiar sus propiedades.
- 6.1.2 Los concretos de baja resistencia (CBR) requieren consumos bajos de cemento portland CPC 40 (6.23%), empleo de aditivos plastificantes tipo A y D (0.13%), alta cantidad de agua de mezclado (16.31%), altos volúmenes de agregados, altas relaciones agua/cemento (>0.9)
- 6.1.3 Los agregados gruesos y finos tienen un volumen de 75.9% del volumen total de la mezcla. La relación grava/arena fue 51/49.
- 6.1.4 Para la producción de los CBR se requiere, que las mezclas, desde la selección de los agregados hasta el proceso de fabricación, estén dentro de parámetros de calidad normalizados, sin llegar a un control riguroso.
- 6.1.5 El consumo de aditivo plastificante de rango normal a rango medio tipo A y D, es de 0.92% del peso del cemento.
- 6.1.6 Se empleó agregado grueso de 19 mm (3/4") T.M.A. en dos tipos: andesítico y calizo.

Este tipo de CBR contiene el 75% de agregados, 7% de cementante, 16% de agua de mezclado, 2% de aire incluido y 0.13% de aditivo plastificante; dado lo anterior el CBR contiene un alto porcentaje de agua de mezclado por lo que tiende a desarrollar mayor contracción.

Dado lo anterior, se emplearon materiales utilizados en la fabricación del CBR en obra con la finalidad de observar las características y comportamiento actual. Esto es importante ya que éste tipo de vivienda tiende a fisurarse en sus muros, relacionándose su contracción con la alta relación A/C.

La mezcla con agregado grueso calizo obtuvo mejores resultados en las pruebas mecánicas de contracción por secado y de permeabilidad a los iones de cloruros con respecto a las mezclas fabricadas con agregados gruesos andesíticos.

6.1.7 Para los concretos de baja resistencia la resistencia a compresión a cualquier edad se estima, en función de la $f'c$ a 28 días con las siguientes expresiones:

$$f_{cT} = \left(\frac{t}{4.66 + 0.77t} \right) f'c_{28\text{días}} \quad \text{CBR con agregados andesíticos}$$

$$f_{cT} = \left(\frac{t}{4.03 + 0.80t} \right) f'c_{28\text{días}} \quad \text{CBR con a.g. calizo}$$

$f'c_T$ y $f'c_{28\text{ días}}$ en kg/cm^2 , t en días

Dado lo anterior, los CBR con agregados andesíticos experimentan mayor incremento de resistencia a compresión simple a 90 días, con un 25%, que los CBR con agregados gruesos calizos, con 19%, respecto de $f'c$ a 28 días debido a su textura del agregado y a que gobierna la pasta del cemento.

6.1.8 La resistencia indirecta a la tensión de los CBR con agregados andesíticos y a.g. calizos respecto a la de concretos normales, clase 1 y clase 2, se presentan a continuación:

CBR AGREGADOS ANDESÍTICOS	CBR A. G. CALIZOS
CLASE 2	CLASE 1
$\frac{f'_t \text{ CBR}}{f'_t \text{ CRN}} = \frac{1.26\sqrt{f'c}}{1.20\sqrt{f'c}} = 1.05$	$\frac{f'_t \text{ CBR}}{f'_t \text{ CRN}} = \frac{1.36\sqrt{f'c}}{1.50\sqrt{f'c}} = 0.91$

donde:

CBR, Concreto de baja resistencia

CRN, Concreto de resistencia normal

En éste tipo de concretos la resistencia mecánica, como se menciona anteriormente, esta gobernada por la resistencia de la pasta (agua + cementante) y en concretos normales y de alta resistencia predomina la falla por adherencia pasta-agregado.

6.1.9 Respecto a la relación de la resistencia a tensión por flexión de CBR y CRN, con agregados andesíticos y con a. g. calizos, los factores que resultaron se presentan a continuación:

CBR AGREGADOS ANDESÍTICOS	CBR A. G. CALIZOS
CLASE 2	CLASE 1
$\frac{M_R \text{ CBR}}{M_R \text{ CRN}} = \frac{2.22\sqrt{f'_c}}{1.40\sqrt{f'_c}} = 1.59$	$\frac{M_R \text{ CBR}}{M_R \text{ CRN}} = \frac{2.44\sqrt{f'_c}}{2.00\sqrt{f'_c}} = 1.22$

6.1.10 Para la determinación del módulo de elasticidad en función de la resistencia a compresión simple se encontraron las siguientes expresiones:

CBR con a. g. andesíticos, $E_c = 9,487.81 \sqrt{f'_c}$

CBR con a. g. calizos, $E_c = 18,184.54 \sqrt{f'_c}$

6.1.11 La relación de Poisson promedio en los CBR estudiados resultaron ser:

CBR con a. g. andesíticos,	$\mu = 0.199$ a 28 días
	$\mu = 0.270$ a 90 días
CBR con a. g. calizos,	$\mu = 0.295$ a 28 días
	$\mu = 0.286$ a 90 días

Cabe mencionar que en los ensayos de resistencia de tensión por flexión y resistencia de tensión indirecta la resistencia de los agregados ya sean calizos o andesíticos no influyen en la resistencia mecánica del CBR debido a que falla antes la adherencia agregado-pasta de cemento.

6.1.12 En este tipo de concreto de baja resistencia es importante determinar la penetración de los iones de cloruros a través del concreto, como un índice de la durabilidad, debido a que el recubrimiento del acero tiende a ser el menor posible. Los valores encontrados se indican a continuación:

A 28 días

CBR con a. andesíticos, Coulombs (C) = 6,882
 CBR con a. g. calizos, Coulombs (C) = 5,783

A 90 días

CBR con a. andesíticos, Coulombs (C) = 3,144
 CBR con a. g. calizos, Coulombs (C) = 2,623

La resistencia del CBR a la permeabilidad de los cloruros es menor a 28 días (mayor cantidad de coulombs) que a 90 días, esto debido a que el CBR a 28 días presenta los poros de saturación abiertos.

A medida que disminuye la relación agua/cementante baja el grado de permeabilidad a los cloruros. Esto se debe a que la resistencia a la compresión aumenta y ésta, está ligada a la permeabilidad del material.

6.1.13 La contracción por secado última para los CBR estudiados fueron de 891×10^{-6} en CBR con agregados gruesos calizos (mezcla 5) y $1,416 \times 10^{-6}$ en CBR con agregados andesíticos (mezcla 1 a 4, y 6), por lo que se deduce que el CBR fabricado con agregado calizo presenta menor contracción que con agregado andesítico. El fabricado con a.g. calizo esta en el orden de los concretos de alta resistencia fabricados con a.g. basáltico.

Contracción por Secado de Prismas de 75 x 75 mm x 285 mm	MEZCLA 5	AGREGADOS
ϵ_{seca} 365 días, millonésimos	(10/NOV/05)	ANDESITICOS
	854	1,351

6.1.14 Los valores del coeficiente de deformación diferida última (C_U) en CBR con agregado grueso calizo son de 6.25 y para CBR con agregados andesíticos corresponde a 4.23.

FECHA	A/C	C_U	C_U CORREGIDO
MEZCLA 2 (30/AGO/05)	0.926	3.41	4.23
MEZCLA 5 (10/NOV/05)	0.927	6.03	6.25

Entre los principales problemas que se presentan en las viviendas con CBR destaca las fisuraciones en puertas y ventanas ocasionadas por la alta cantidad de agua de mezclado; sin embargo, ésta problemática se puede resolver mediante el uso de aditivos superplastificantes, el empleo de junta de construcción y de acero de refuerzo adicional alrededor de las aberturas. También empleando un adecuado procedimiento de diseño, mezclado, colocación, vibrado y curado se disminuye la tendencia de fisuración del CBR.

El empleo de aditivo plastificante o superplastificante para reducir las contracciones, deberá evaluarse desde el punto de vista costo beneficio.

Disminuyendo la relación A/C con el empleo de aditivo superplastificante la resistencia del CBR a la permeabilidad a los cloruros aumenta, evitando la corrosión del acero de refuerzo.

Es conveniente observar hasta que porcentaje máximo de aditivo plastificante es conveniente emplear en el CBR, identificando el comportamiento de las contracciones y la relación A/C durante el desarrollo, así como las consecuencias posteriores que puedan surgir.

La mayor parte de la contracción por secado se manifiesta en el primer año, pero continúa por varios años, adquiriendo la curva una tendencia asintótica con el tiempo. El concreto con mayor volumen de agregados presentan menos contracción.

La contracción por secado, a mayor relación A/C mayor es su contracción aplicando a ambos tipos de agregados; sin embargo, en las mezclas con agregados gruesos calizos es menor independientemente que sea la misma relación A/C debido a su mayor estabilidad volumétrica, calidad, dureza, etc., del agregado calizo con respecto al agregado andesítico.

La deformación diferida de los CBR con agregados calizos es menor debido a la estructura del propio agregado, a diferencia de un agregado andesítico.

6.2 RECOMENDACIONES

- 6.2.1 En la normatización prevaleciente en la Republica Mexicana no se contempla este tipo de concreto, a pesar de que ha tenido y tendrá gran demanda en la próxima década. La información presentada será de gran ayuda para regularizar, reglamentar y mejorar la calidad del concreto de baja resistencia en la vivienda de interés social.
- 6.2.2 Es indispensable ampliar esta investigación con otros tipos de agregados utilizados a nivel nacional, diferente tipo de cemento, emplear o no aditivo reductor de agua de alta rango, con la finalidad de documentar el desempeño de los diferentes agregados y aditivos. En este estudio se tomaron en cuenta los agregados con mayor demanda en el Valle de México.
- 6.2.3 Los resultados de las mezclas de campo, 1, 2 y 3, varían en cierta forma de los resultados de laboratorio, ya que existe diferencia en el control de las mezclas. Los agregados, el cemento y aditivos son los empleados en campo, pero los procedimientos de fabricación, colocación, vibrado y curado tienden a variar.
- 6.2.4 En está investigación prevalecieron las relaciones agua/cemento altas, aún empleando aditivo reductor de agua de mediano rango; conviene ampliar el estudio con la finalidad de conocer hasta que grado es conveniente modificar tal relación variando el contenido y tipo de aditivo reductor de agua desde un consumo nulo, observando su costo-beneficio.
- 6.2.5 Conviene realizar la difusión exhaustiva del estudio aquí presentado entre los desarrolladores de proyectos de viviendas, desde el proyectista o diseñador hasta el constructor, a fin de obtener mejor desempeño de los concretos empleados en estas obras.

APÉNDICE A

PRUEBAS FÍSICAS A LOS AGREGADOS

3.1 Datos Colado 24/Oct/05

- 3.1.1 Pruebas Físicas a agregado fino
- 3.1.2 Pruebas Físicas a agregado grueso
- 3.1.3 Gráfico de Curva Granulométrica

3.2 Datos Colado 10/Nov/05

- 3.2.1 Pruebas Físicas a agregado fino
- 3.2.2 Pruebas Físicas a agregado grueso
- 3.2.3 Gráfico de Curva Granulométrica

3.3 Datos Colado 15/Nov/05

- 3.3.1 Pruebas Físicas a agregado fino
- 3.3.2 Pruebas Físicas a agregado grueso
- 3.3.3 Gráfico de Curva Granulométrica

3.4 Resumen de Agregados Pétreos

3.1 Datos Colado 24/Oct/05

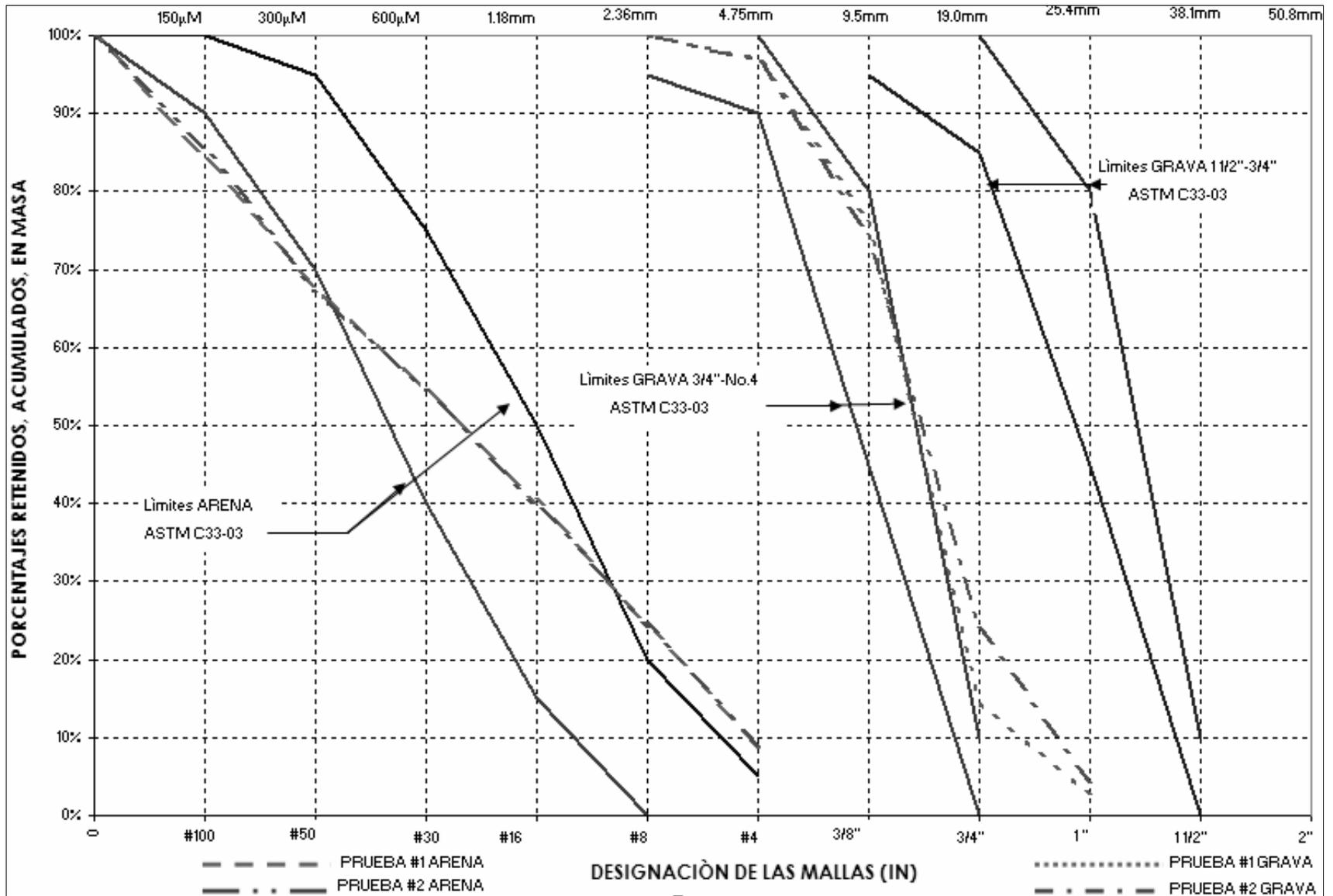
3.1.1 Pruebas Físicas a agregado fino

 PRUEBAS FÍSICAS DE AGREGADO FINO									
Muestra No.:	M3-A	Descripción:		Arena color gris-cafe claro ANDESITA					
Procedencia:	Mina "Moncayo", Banco en Planta de Concreto Grupo SADASI S.A. Héroes de Tecamac Edo. De México					Fecha de recibo:	12-Oct-05		
CONCEPTOS	PRUEBA #1			PRUEBA #2			PROMEDIOS		
1) GRANULOMETRIA	PESO (GR)	%	PASA ACUM.	PESO (GR)	%	PASA ACUM.	PESO (GR)	%	PASA ACUM.
			100%			100%			
Retenido malla #4	259.8	8.83%	91.17%	274.0	9.15%	90.85%	266.9	8.99%	91.01%
Pasa por malla #4	2,683.1	91.17%	0.00%	2,720.4	90.85%	0.00%	2,701.8	91.01%	0.00%
Suma	2,942.9	100.00%		2,994.4	100.00%		2,968.7	100.00%	
Retenido malla #4	259.8	8.83%	91.17%	274.0	9.15%	90.85%	266.9	8.99%	91.01%
Retenido malla #8	458.8	15.59%	75.58%	454.2	15.17%	75.68%	456.5	15.38%	75.63%
Retenido malla #16	463.7	15.76%	59.83%	466.9	15.59%	60.09%	465.3	15.67%	59.96%
Retenido malla #30	421.3	14.32%	45.51%	426.5	14.24%	45.85%	423.9	14.28%	45.68%
Retenido malla #50	389.9	13.25%	32.26%	398.7	13.31%	32.53%	394.3	13.28%	32.40%
Retenido malla #100	489.9	16.65%	15.61%	544.2	18.17%	14.36%	517.1	17.41%	14.99%
Pasa por malla #100	459.5	15.61%	0.00%	429.9	14.36%	0.00%	444.7	14.99%	0.00%
Suma	2,942.9	100.00%		2,994.4	100.00%		2,968.7	100.00%	
Módulo de Finura	2.800			2.806			2.803		
2) DENSIDAD (gr/cm³)	Pss (gr)	V (cm³)	D (gr/cm³)	Pss (gr)	V (cm³)	D (gr/cm³)	Pss (gr)	V (cm³)	D (gr/cm³)
	500	213.5	2.342	500	214.5	2.331	500	214	2.336
3) ABSORCIÓN (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Abs. (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Abs. (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Abs. (%)
	463.4	36.6	7.32%	463.1	36.9	7.38%	463.25	36.75	7.35%
4) PASA MALLA #200 -LAVADO- (%)	Ps (gr)	PI	PxL	Ps (gr)	PI	PxL	Ps (gr)	PI	PxL
	1,000	798.3	20.17%	1,000	828.9	17.11%	1,000	814	18.64%
5) MATERIAL ORGÁNICO (COLOR)	N/A			N/A			N/A		
6) PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO (KG/M³)	P (KG)	V (M³)	P.V.S.S.	P (KG)	V (M³)	P.V.S.S.	P (KG)	V (M³)	P.V.S.S.
	9.923	6.68E-03	1,486.47	10.068	6.68E-03	1,508.19	9.996	6.68E-03	1,497.33
7) PESO VOLUMÉTRICO SECO COMPACTO (KG/M³)	P (KG)	V (M³)	P.V.S.C.	P (KG)	V (M³)	P.V.S.C.	P (KG)	V (M³)	P.V.S.C.
	10.943	6.68E-03	1,639.27	10.945	6.68E-03	1,639.57	10.944	6.68E-03	1,639.42
8) EXAMEN PETROGRÁFICO	N/A			N/A			N/A		
	W _{nat} =	1,000							
9) HUMEDAD (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Hum. (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Hum. (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Hum. (%)
	951.1	49	4.89%	947.7	52	5.23%	949.4	51	5.06%
Observaciones:									
Ensayó:	BECARIO José Guadalupe Muñiz Rodriguez					Fecha:	16-19/Oct/05		

3.1.2 Pruebas Físicas a agregado grueso

 PRUEBAS FÍSICAS DE AGREGADO GRUESO										
Muestra No.:	M3-G	Descripción:	Grava color gris ANDESITA							
Procedencia:	Mina "Moncayo", Banco en Planta de Concreto Grupo SADASI S.A. Héroes de Tecamac Edo. De México						Fecha de recibo:	12-Oct-05		
CONCEPTOS		PRUEBA #1			PRUEBA #2			PROMEDIOS		
1) GRANULOMETRIA	PESO (GR)	%	ACUM.	PESO (GR)	%	ACUM.	PESO (GR)	%	ACUM.	
			100%			100%				
Retenido malla #4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Pasa por malla #4	2385.2	100.00%	-	2300.7	100.00%	-	2,343.0	100.00%	-	
Suma	2,385.2	100.00%		2,300.7	100.00%		2,343.0	100.00%		
Retenido malla 1"	104.5	4.38%	95.62%	57.2	2.49%	97.51%	80.9	3.43%	96.57%	
Retenido malla 3/4"	460.6	19.31%	76.31%	279.3	12.14%	85.37%	370.0	15.73%	80.84%	
Retenido malla 1/2"	714.0	29.93%	25.70%	895.2	38.91%	23.66%	804.6	34.42%	24.68%	
Retenido malla 3/8"	493.1	20.67%		524.6	22.80%		508.9	21.74%		
Retenido malla 1/4"	484.2	20.30%	5.40%	443.7	19.29%	4.38%	464.0	19.79%	4.89%	
Retenido malla #4	50.5	2.12%	3.28%	34.2	1.49%	2.89%	145.5	6.10%	-1.21%	
Pasa por malla #4	78.3	3.28%	0.00%	66.5	2.89%	0.00%	72.4	3.09%	0.00%	
Suma	2,385.2	100.00%		2,300.7	100.00%		2,343.0	100.00%		
Módulo de Finura	4.937			4.862			4.899			
2) DENSIDAD (gr/cm³)										
	Pss (gr)	V (cm³)	D (gr/cm³)	Pss (gr)	V (cm³)	D (gr/cm³)	Pss (gr)	V (cm³)	D (gr/cm³)	
Grava	1,000	581	2.39	1,000	578	2.37	1,000	580	2.38	
Grava										
Grava										
3) ABSORCIÓN (%)										
	Ps (gr)	Pss-Ps	Abs. (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Abs. (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Abs. (%)	
Grava	962.1	38	3.79%	964.4	35.6	3.56%	963	37	3.68%	
Grava										
Grava										
4) PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO (KG/M³)										
	P (KG)	V (M³)	P.V.S.S.	P (KG)	V (M³)	P.V.S.S.	P (KG)	V (M³)	P.V.S.S.	
	8.280	6.68E-03	1,240.35	8.214	6.68E-03	1,230.46	8.247	6.68E-03	1,235.41	
5) PESO VOLUMÉTRICO SECO COMPACTO (KG/M³)										
	P (KG)	V (M³)	P.V.S.C.	P (KG)	V (M³)	P.V.S.C.	P (KG)	V (M³)	P.V.S.C.	
	8.820	6.68E-03	1,321.24	8.771	6.68E-03	1,313.90	8.796	6.68E-03	1,317.57	
6) EXAMEN PETROGRÁFICO										
	N/A			N/A			N/A			
	$W_{nat} =$	1,000								
7) HUMEDAD (%)										
	Ps (gr)	Pss-Ps	Hum. (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Hum. (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Hum. (%)	
	988.4	12	1.16%	990.9	9	0.91%	989.65	10	1.04%	
Observaciones:										
Ensayo:	BECARIO José Guadalupe Muñiz Rodríguez						Fecha:	10-14/Oct/05		

3.1.3 Gráfico de Curva Granulométrica



3.2 Datos Colado 10/Nov/05

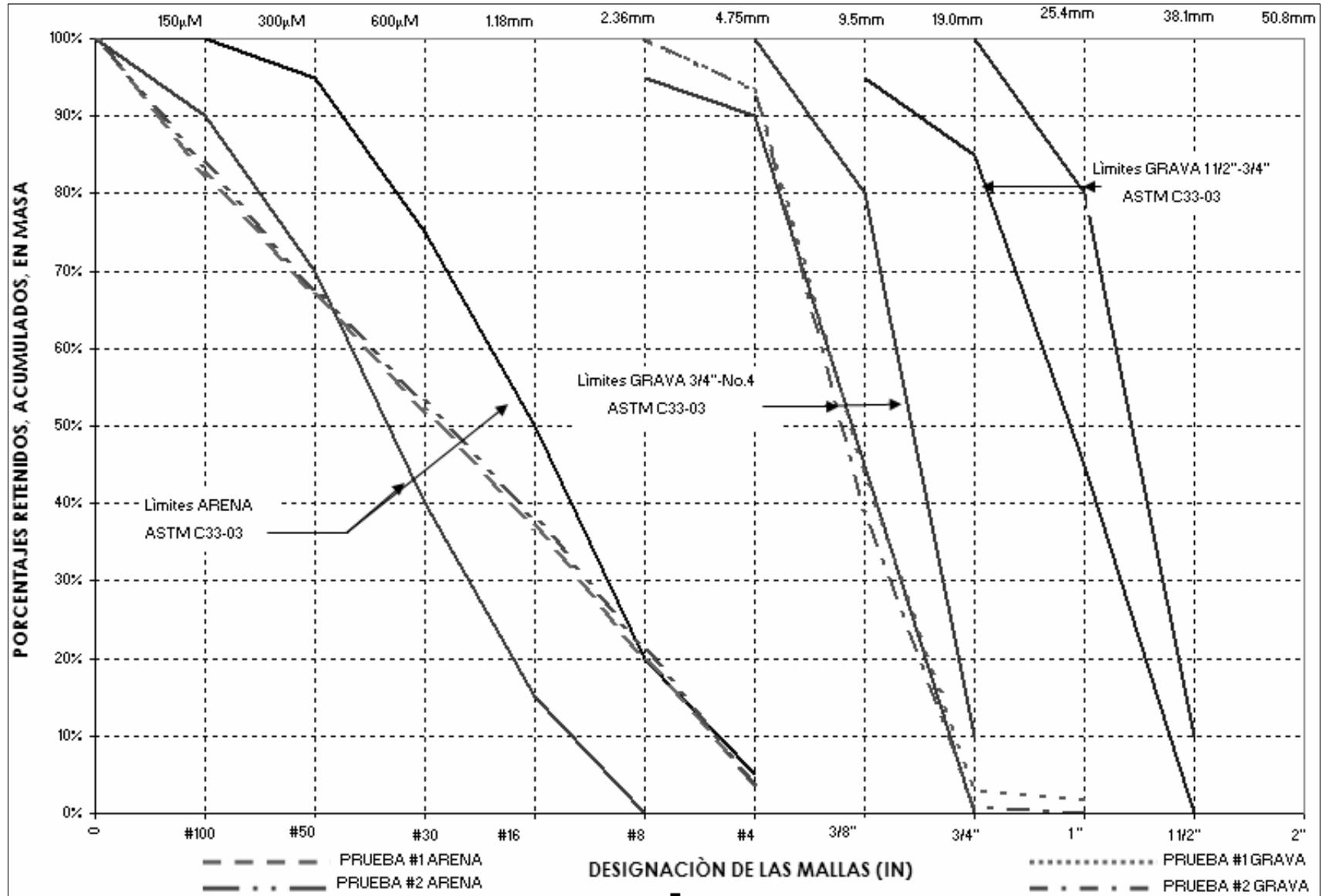
3.2.1 Pruebas Físicas a agregado fino

 PRUEBAS FÍSICAS DE AGREGADO FINO									
Muestra No.:	M4-A	Descripción:		Arena color gris-cafe claro ANDESITA					
Procedencia:	Tolva 4 de Instituto de Ingeniería, UNAM						Fecha de recibo:	25-Oct-05	
CONCEPTOS	PRUEBA #1			PRUEBA #2			PROMEDIOS		
1) GRANULOMETRIA	PESO (GR)	%	PASA ACUM.	PESO (GR)	%	PASA ACUM.	PESO (GR)	%	PASA ACUM.
			100%			100%			
Retenido malla #4	75.6	3.73%	96.27%	93.4	4.06%	95.94%	84.5	3.90%	96.10%
Pasa por malla #4	1,948.7	96.27%	0.00%	2,208.3	95.94%	0.00%	2,078.5	96.10%	0.00%
Suma	2,024.3	100.00%		2,301.7	100.00%		2,163.0	100.00%	
Retenido malla #4	75.6	3.73%	96.27%	93.4	4.06%	95.94%	84.5	3.90%	96.10%
Retenido malla #8	328.5	16.23%	80.04%	391.9	17.03%	78.92%	360.2	16.63%	79.48%
Retenido malla #16	343.1	16.95%	63.09%	391.2	17.00%	61.92%	367.15	16.97%	62.50%
Retenido malla #30	303.4	14.99%	48.10%	340.6	14.80%	47.12%	322	14.89%	47.61%
Retenido malla #50	300.3	14.83%	33.27%	331.8	14.42%	32.71%	316.1	14.63%	32.99%
Retenido malla #100	317.9	15.70%	17.56%	376.4	16.35%	16.35%	347.2	16.03%	16.96%
Pasa por malla #100	355.5	17.56%	0.00%	376.4	16.35%	0.00%	365.95	16.96%	0.00%
Suma	2,024.3	100.00%		2,301.7	100.00%		2,163.0	100.00%	
Módulo de Finura	2.617			2.670			2.644		
2) DENSIDAD (gr/cm³)	Pss (gr)	V (cm³)	D (gr/cm³)	Pss (gr)	V (cm³)	D (gr/cm³)	Pss (gr)	V (cm³)	D (gr/cm³)
	500	212	2.358	500	211	2.370	500	212	2.364
3) ABSORCIÓN (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Abs. (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Abs. (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Abs. (%)
	465.0	35	7.00%	468.5	31.5	6.30%	466.75	33.25	6.65%
4) PASA MALLA #200 -LAVADO- (%)	Ps (gr)	PI	PxL	Ps (gr)	PI	PxL	Ps (gr)	PI	PxL
	1,000	808.8	19.12%	1,000	809.0	19.10%	1,000	809	19.11%
5) MATERIAL ORGÁNICO (COLOR)	N/A			N/A			N/A		
6) PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO (KG/M³)	P (KG)	V (M³)	P.V.S.S.	P (KG)	V (M³)	P.V.S.S.	P (KG)	V (M³)	P.V.S.S.
	9.403	6.68E-03	1,408.58	9.596	6.68E-03	1,437.49	9.500	6.68E-03	1,423.03
7) PESO VOLUMÉTRICO SECO COMPACTO (KG/M³)	P (KG)	V (M³)	P.V.S.C.	P (KG)	V (M³)	P.V.S.C.	P (KG)	V (M³)	P.V.S.C.
	11.082	6.68E-03	1,660.09	11.207	6.68E-03	1,678.82	11.145	6.68E-03	1,669.46
8) EXAMEN PETROGRÁFICO	N/A			N/A			N/A		
	$W_{nat} =$	1,000							
9) HUMEDAD (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Hum. (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Hum. (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Hum. (%)
	902.5	98	9.75%	901.1	99	9.89%	901.8	98	9.82%
Observaciones:									
Ensayò:	BECARIO José Guadalupe Muñiz Rodriguez						Fecha:	25-27/Oct/05	

3.2.2 Pruebas Físicas a agregado grueso

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM		PRUEBAS FÍSICAS DE AGREGADO GRUESO									
Muestra No.:	M4-G	Descripción:	Grava color rosa CALIZA								
Procedencia:	Mina "San Carlos" Morelos.						Fecha de recibo:	25-Oct-05			
CONCEPTOS		PRUEBA #1			PRUEBA #2			PROMEDIOS			
1) GRANULOMETRIA	PESO (GR)	%	ACUM.	PESO (GR)	%	ACUM.	PESO (GR)	%	ACUM.		
			100%			100%					
Retenido malla #4	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Pasa por malla #4	2984.6	100.00%	-	3032.1	100.00%	-	3,008.4	100.00%	-		
Suma	2,984.6	100.00%		3,032.1	100.00%		3,008.4	100.00%			
Retenido malla 1"	0.0	0.00%	100.00%	52.2	1.72%	98.28%	26.1	0.86%	99.14%		
Retenido malla 3/4"	27.9	0.93%	99.07%	39.6	1.31%	96.97%	33.8	1.12%	98.02%		
Retenido malla 1/2"	501.5	16.80%	61.07%	611.8	20.18%	56.08%	556.7	18.49%	58.58%		
Retenido malla 3/8"	632.4	21.19%		628.2	20.72%		630.3	20.95%			
Retenido malla 1/4"	1,112.4	37.27%	23.80%	1,029.2	33.94%	22.13%	1,070.8	35.61%	22.97%		
Retenido malla #4	505.8	16.95%	6.86%	474.2	15.64%	6.49%	145.5	4.88%	18.09%		
Pasa por malla #4	204.6	6.86%	0.00%	196.9	6.49%	0.00%	200.8	6.67%	0.00%		
Suma	2,984.6	100.00%		3,032.1	100.00%		3,008.4	100.00%			
Módulo de Finura		4.092			4.200			4.146			
2) DENSIDAD (gr/cm ³)	Pss (gr)	V (cm ³)	D (gr/cm ³)	Pss (gr)	V (cm ³)	D (gr/cm ³)	Pss (gr)	V (cm ³)	D (gr/cm ³)		
Grava	1,000	624	2.66	1,000	627	2.68	1,000	626	2.67		
Grava											
Grava											
3) ABSORCIÓN (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Abs. (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Abs. (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Abs. (%)		
Grava	989.9	10	1.01%	992.3	7.7	0.77%	991	9	0.89%		
Grava											
Grava											
4) PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO (KG/M ³)	P (KG)	V (M ³)	P.V.S.S.	P (KG)	V (M ³)	P.V.S.S.	P (KG)	V (M ³)	P.V.S.S.		
	9.477	6.68E-03	1,419.66	9.555	6.68E-03	1,431.35	9.516	6.68E-03	1,425.50		
5) PESO VOLUMÉTRICO SECO COMPACTO (KG/M ³)	P (KG)	V (M ³)	P.V.S.C.	P (KG)	V (M ³)	P.V.S.C.	P (KG)	V (M ³)	P.V.S.C.		
	9.890	6.68E-03	1,481.53	9.947	6.68E-03	1,490.07	9.919	6.68E-03	1,485.80		
6) EXAMEN PETROGRÁFICO	N/A			N/A			N/A				
	W _{nat} =	1,000									
7) HUMEDAD (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Hum. (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Hum. (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Hum. (%)		
	998.7	1	0.13%	998.9	1	0.11%	998.8	1	0.12%		
Observaciones:											
Ensayó:	BECARIO José Guadalupe Muñiz Rodríguez						Fecha:	25-27/Oct/05			

3.2.3 Gráfico de Curva Granulométrica



3.5 Datos Colado 15/Nov/05

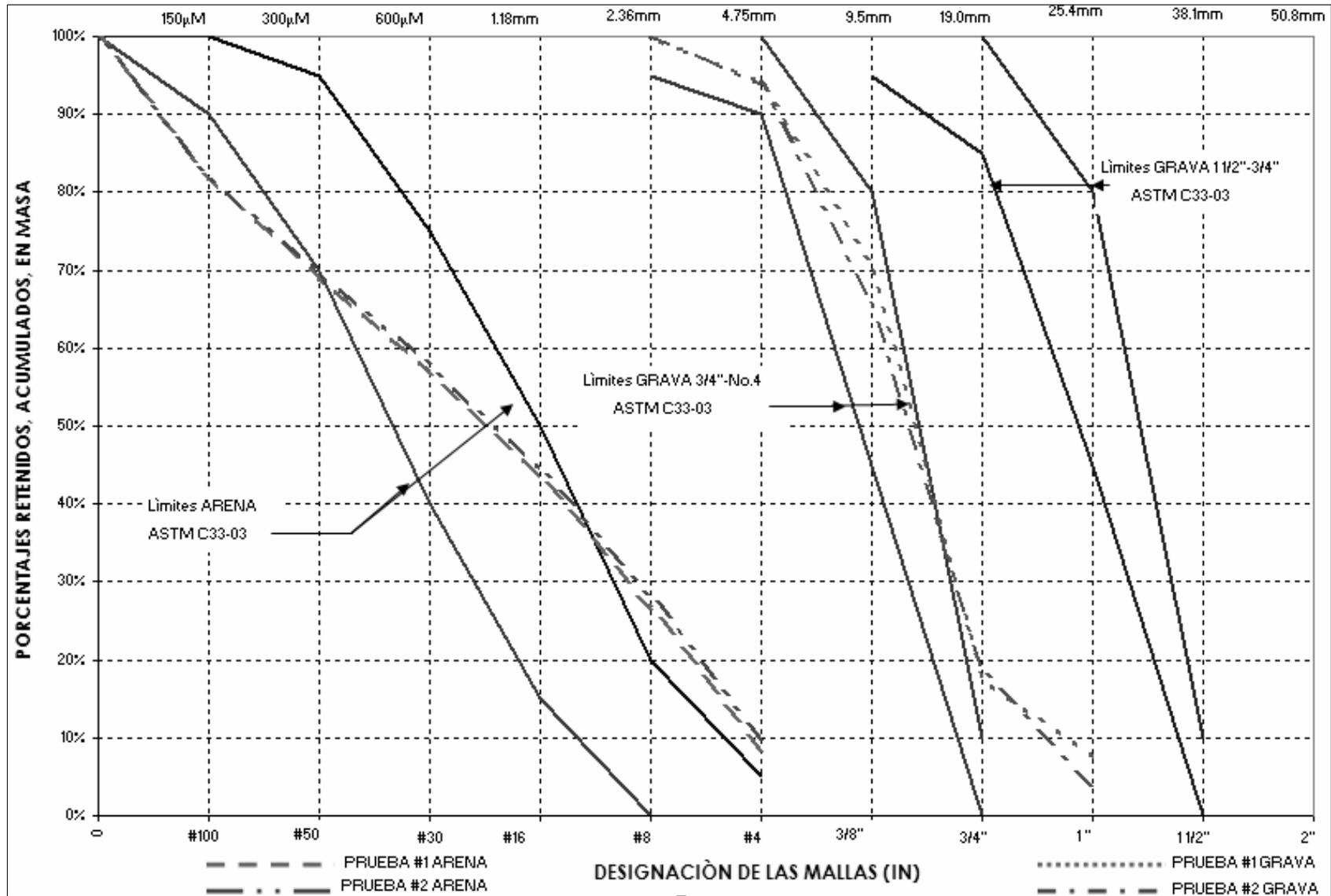
3.5.1 Pruebas Físicas a agregado fino

 PRUEBAS FÍSICAS DE AGREGADO FINO									
Muestra No.:	M5-A	Descripción: Arena color gris-cafe claro ANDESITA							
Procedencia:	Mina "Moncayo", Banco en Planta de Concreto Grupo SADASI S.A. Héroes de Tecamac Edo. De México						Fecha de recibo:	09-Nov-05	
CONCEPTOS	PRUEBA #1			PRUEBA #2			PROMEDIOS		
1) GRANULOMETRIA	PESO (GR)	%	PASA ACUM.	PESO (GR)	%	PASA ACUM.	PESO (GR)	%	PASA ACUM.
			100%			100%			
Retenido malla #4	140.6	8.54%	91.46%	156.3	9.91%	90.09%	148.45	9.22%	90.78%
Pasa por malla #4	1,505.9	91.46%	0.00%	1,421.3	90.09%	0.00%	1,463.6	90.78%	0.00%
Suma	1,646.5	100.00%		1,577.6	100.00%		1,612.1	100.00%	
Retenido malla #4	140.6	8.54%	91.46%	156.3	9.91%	90.09%	148.5	9.22%	90.78%
Retenido malla #8	300.4	18.24%	73.22%	288.1	18.26%	71.83%	294.25	18.25%	72.52%
Retenido malla #16	275.1	16.71%	56.51%	257.2	16.30%	55.53%	266.15	16.51%	56.02%
Retenido malla #30	223.6	13.58%	42.93%	210.4	13.34%	42.19%	217	13.46%	42.56%
Retenido malla #50	198.8	12.07%	30.85%	186.5	11.82%	30.37%	192.7	11.95%	30.61%
Retenido malla #100	210.4	12.78%	18.07%	196.3	12.44%	17.93%	203.4	12.61%	18.00%
Pasa por malla #100	297.6	18.07%	0.00%	282.8	17.93%	0.00%	290.2	18.00%	0.00%
Suma	1,646.5	100.00%		1,577.6	100.00%		1,612.1	100.00%	
Módulo de Finura	2.870			2.921			2.895		
2) DENSIDAD (gr/cm³)	Pss (gr)	V (cm³)	D (gr/cm³)	Pss (gr)	V (cm³)	D (gr/cm³)	Pss (gr)	V (cm³)	D (gr/cm³)
	500	211.5	2.364	500	211	2.370	500	211	2.367
3) ABSORCIÓN (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Abs. (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Abs. (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Abs. (%)
	466.1	33.9	6.78%	471.4	28.6	5.72%	468.75	31.25	6.25%
4) PASA MALLA #200 -LAVADO- (%)	Ps (gr)	PI	PxL	Ps (gr)	PI	PxL	Ps (gr)	PI	PxL
	1,000	827.3	17.27%	1,000	818.5	18.15%	1,000	823	17.71%
5) MATERIAL ORGÁNICO (COLOR)	N/A			N/A			N/A		
6) PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO (KG/M³)	P (KG)	V (M³)	P.V.S.S.	P (KG)	V (M³)	P.V.S.S.	P (KG)	V (M³)	P.V.S.S.
	10.159	6.68E-03	1,521.83	10.175	6.68E-03	1,524.22	10.167	6.68E-03	1,523.03
7) PESO VOLUMÉTRICO SECO COMPACTO (KG/M³)	P (KG)	V (M³)	P.V.S.C.	P (KG)	V (M³)	P.V.S.C.	P (KG)	V (M³)	P.V.S.C.
	11.032	6.68E-03	1,652.60	11.038	6.68E-03	1,653.50	11.035	6.68E-03	1,653.05
8) EXAMEN PETROGRÁFICO	N/A			N/A			N/A		
	W _{nat} =	1,000							
9) HUMEDAD (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Hum. (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Hum. (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Hum. (%)
	960.7	39	3.93%	972.6	27	2.74%	966.65	33	3.34%
Observaciones:									
Ensayó:	BECARIO José Guadalupe Muñiz Rodriguez						Fecha:	10-13/Nov/05	

3.5.2 Pruebas Físicas a agregado grueso

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM		PRUEBAS FÍSICAS DE AGREGADO GRUESO							
Muestra No.:	M5-G	Descripción:		Grava color gris ANDESITA					
Procedencia:	Mina "Moncayo", Banco en Planta de Concreto Grupo SADASI S.A. Héroes de Tecamac Edo. De México						Fecha de recibo:	09-Nov-05	
CONCEPTOS	PRUEBA #1			PRUEBA #2			PROMEDIOS		
1) GRANULOMETRIA	PESO (GR)	%	ACUM.	PESO (GR)	%	ACUM.	PESO (GR)	%	ACUM.
			100%			100%			
Retenido malla #4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pasa por malla #4	3286.5	100.00%	-	1854.3	100.00%	-	2,570.4	100.00%	-
Suma	3,286.5	100.00%		1,854.3	100.00%		2,570.4	100.00%	
Retenido malla 1"	134.1	4.08%	95.92%	139.5	7.52%	92.48%	136.8	5.80%	94.20%
Retenido malla 3/4"	473.6	14.41%	81.51%	185.6	10.01%	82.47%	329.6	12.21%	81.99%
Retenido malla 1/2"	987.2	30.04%	34.10%	657.2	35.44%	28.97%	822.2	32.74%	31.54%
Retenido malla 3/8"	570.9	17.37%		334.8	18.06%		452.9	17.71%	
Retenido malla 1/4"	767.1	23.34%	10.76%	352.8	19.03%	9.94%	560.0	21.18%	10.35%
Retenido malla #4	150.0	4.56%	6.20%	75.5	4.07%	5.87%	145.5	4.43%	5.92%
Pasa por malla #4	203.6	6.20%	0.00%	108.9	5.87%	0.00%	156.3	6.03%	0.00%
Suma	3,286.5	100.00%		1,854.3	100.00%		2,570.4	100.00%	
Módulo de Finura	4.715			4.803			4.759		
2) DENSIDAD (gr/cm ³)	Pss (gr)	V (cm ³)	D (gr/cm ³)	Pss (gr)	V (cm ³)	D (gr/cm ³)	Pss (gr)	V (cm ³)	D (gr/cm ³)
Grava	1,000	569	2.32	1,000	571	2.33	1,000	570	2.33
Grava									
Grava									
3) ABSORCIÓN (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Abs. (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Abs. (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Abs. (%)
Grava	946.8	53	5.32%	943.6	56.4	5.64%	945	55	5.48%
Grava									
Grava									
4) PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO (KG/M ³)	P (KG)	V (M ³)	P.V.S.S.	P (KG)	V (M ³)	P.V.S.S.	P (KG)	V (M ³)	P.V.S.S.
	8.135	6.68E-03	1,218.63	8.117	6.68E-03	1,215.93	8.126	6.68E-03	1,217.28
5) PESO VOLUMÉTRICO SECO COMPACTO (KG/M ³)	P (KG)	V (M ³)	P.V.S.C.	P (KG)	V (M ³)	P.V.S.C.	P (KG)	V (M ³)	P.V.S.C.
	8.660	6.68E-03	1,297.27	8.748	6.68E-03	1,310.46	8.704	6.68E-03	1,303.87
6) EXAMEN PETROGRÁFICO	N/A			N/A			N/A		
	W _{nat} =	1,000							
7) HUMEDAD (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Hum. (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Hum. (%)	Ps (gr)	Pss-Ps	Hum. (%)
	991.1	9	0.89%	988.5	12	1.15%	989.8	10	1.02%
Observaciones:									
Ensayó:	BECARIO José Guadalupe Muñiz Rodriguez						Fecha:	10-13/Nov/05	

3.5.3 Gráfico de Curva Granulométrica



3.6 Resumen de Agregados Pétreos

AGREGADOS								
Tipo de Agregado	Agregado Fino				Agregado Grueso			
	Andesita	Andesita Tolva II UNAM	Andesita	Promedio de Agregado Fino Andesítico	Andesita	Andesita	Promedio de Agregado Fino Andesítico	Caliza
f'c (kg/cm ²)	264.79	175.53	177.04	205.78	264.79	177.04	220.91	175.53
Fecha de Fabricación	17-Ago-05	30-Ago-05	22-Sep-05	N/A	17-Ago-05	22-Sep-05	N/A	30-Ago-05
Módulo de Finura	2.803	2.644	2.895	2.781	4.899	4.759	4.829	4.146
Densidad (gr/cm ³)	2.336	2.364	2.367	2.356	2.378	2.326	2.352	2.67
Absorción (%)	7.35%	6.65%	6.25%	6.75%	3.68%	5.48%	4.58%	0.89%
Humedad (%)	5.06%	9.82%	3.34%	6.07%	1.04%	1.02%	1.03%	0.12%
Pasa malla #200 (%)	18.64%	19.11%	17.71%	18.49%	-	-	-	-
P.V.S.S. (KG/M ³)	1,497.33	1,423.03	1,523.03	1481.13	1,235.41	1,217.28	1226.34	1,425.50
P.V.S.C. (KG/M ³)	1,639.42	1,669.46	1,653.05	1653.98	1,317.57	1,303.87	1310.72	1,485.80

APÉNDICE B

**DISEÑO Y DOSIFICACIÓN DE CONCRETO DE BAJA
RESISTENCIA**

- 2.1 Diseño de concreto con materiales andesíticos con relación A/C: 0.756 del 24/Oct/05.**
- 2.2 Diseño de concreto con materiales andesíticos con relación A/C: 0.927 del 10/Nov/05, con agregado grueso de calizas y agregado fino de andesita.**
- 2.3 Diseño de concreto con materiales andesíticos con relación A/C: 0.912 del 15/Nov/05, con agregado grueso y fino andesíticos.**

2.1 Diseño de concreto con materiales andesíticos con relación A/C: 0.756 del 24/Oct/05.

DISEÑO Y DOSIFICACIÓN DE CONCRETO "CBR" 24/OCT/05						
1.- Especificaciones de Obra						
1.1	Tipo de Construcción.....	Concreto en muros reforzados				
1.2	Exposición.....	Mediana (muro con exposición a ambiente no agresivo)				
1.3	T. M. A. (in. mm).....	3/4	19.05			
1.4	Revenimiento (cm).....	de	7.5	a	10	
1.5	Resistencia nominal a compresion a 28 dias (Mpa, kg/cm ²):		14.71	150		
1.6	Peso Unitario del Agua (kg/m ³).....					1,000
1.7	Aditivo plastificante WRDA 64 dosificación de (ml/100 kg).....			195	a	390
1.8	Aditivo plastificante de rango medio DARACEM 55 dosif de.....			190	a	590
2.- Características de los materiales seleccionados						
		Cemento CPC 40	Aditivo WRDA 64	Agregado Fino	Aditivo DARACEM 55	Agregado Grueso
2.1	Densidad Relativa	3.15	1.21	2.336	1.28	2.378
2.2	Peso Unitario (kg/m ³)	3,150		2,336.46		2,378.15
2.3	Peso Unitario Varillado en Seco(kg/m ³)	-		1,639.42		1,317.57
2.4	Módulo de Finura	-		2.803		4.899
2.5	Humedad de la condición SSS (%)	-		5.06%		1.04%
2.6	Absorción de la condición SSS (%)	-		7.35%		3.68%
3.- Cálculo de las proporciones de la mezcla (Bases SSS, kg/m³)						
3.1	Revenimiento (cm).....			7.5	a	10
3.2	T. M. A. (in. mm).....			3/4	19.05	
3.3.1	Contenido de agua de mezclado (concreto sin inclusión de aire).....					205
	Contenido de agua con -10% por aditivo.....					184.5
3.3.2	Cantidad aproximada de aire atrapado.....					2%
3.4.1	Resistencia promedio considerando desviación estándar Mpa, kg/cm ² :				16.77	171.00
	ITEM	ESPECIMEN	F'c (KG/CM²)	P lim inf	t	
	1	M-1-22	205.05	2/10	0.84	
	2	M-1-22	222.29			
	3	M-1-13	216.11			
	4	M-1-20	209.41			
	5	M-1-23	210.68			
	6	M _N -2-11	171.77			
	7	M _N -2-06	163.22			
	8	M _N -2-03	163.62			
	9	M _N -2-10	169.85			
	10	M _N -2-05	163.17			
	MEDIA:		189.52			
	DESV. STD.:		25.00			
	F'cr =	171.00	(KG/CM²)			
				PESOS VOLUMETRICOS KG/M³		
				Compresión Simple CS		2,147.45
				Compresión Diametral CØ		2,161.28
				Flexión de Concreto MR		2,180.77
				TOTAL		2,163.17

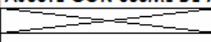
3.4.2	Relación agua/cemento.....:					0.756
		PCA		ACI		
		200	0.7	20	0.69	
		171.00	0.758	16.77	0.755	
		150	0.80	15	0.79	
		-50	21.00	-5	1.77	
		0.10		0.10		
3.5	Contenido de Cemento (kg).....					243.95
3.6.1	Fracción de volumen de grava varillada en seco.....					0.62
3.6.2	Volumen de grava varillada en seco.....					816.89
3.7.1	Utilizando el método de peso: peso unitario del concreto.....					2,163.17
3.7.2	Peso de la Arena.....					897.32
4.- Utilizando el MÉTODO DE VOLUMEN ABSOLUTO						
4.1	Volumen desplazado por el agua (m ³).....					0.185
4.2	Volumen desplazado por el cemento (m ³).....					0.077
4.3	Volumen desplazado por la grava (m ³).....					0.343
4.4	Volumen desplazado por el aire (m ³).....					0.020
					SUMA	0.625
4.5.1	Volumen desplazado por la arena (m ³).....					0.375
4.5.2	Peso de la Arena (Kg).....					875.14
4.6	Peso Volumétrico del Concreto (kg/m ³).....:					2,120.48
Puesto que el método de volumen absoluto es más exacto, las proporciones determinadas por este método serán las utilizadas.						
5.- Ajuste de la mezcla de prueba en laboratorio						
5.1	Ajuste por Humedad	kg/m ³	%	kg Agua +		
	Agregado Fino	875.14	5.06%	44.282		
	Agregado Grueso	816.89	1.04%	8.455		
				52.737		
5.2	Ajuste por Absorción	kg/m ³	%	kg Agua -		
	Agregado Fino	875.14	7.35%	64.323		
	Agregado Grueso	816.89	3.68%	30.021		
				94.343		
5.3	Cantidad de Agua a incrementar o reducir.....			41.607		
5.4	Ajuste por Aditivo	ml/100kg cem	ml/100kg cem	Cemento kg/m ³	DISEÑO SADASI	
					Aditivo (ml/m ³)	
	Aditivo WRDA 64	292.5	600	243.95	713.5	1,463.7
	Aditivo DARACEM 55	390.0	400		951.4	975.8
	MATERIAL	AGREGADOS SSS kg/m³	AGREGADOS SSS kg/m³ LT de Concreto	Prop. De la mezcla para la 1ra. Mezcla de prueba (kg)		
			221.382	22.138		
	Cemento	243.95	54.01	5.40		
	Arena	875.14	193.74	19.37		
	Grava	816.89	180.85	18.08		
	Agua	224.44	49.69	4.97		
	Aditivo WRDA 64	713.54	157.97	15.80		
	Aditivo DARACEM 55	951.39	210.62	21.06		
	Total	2,162.50	478.74	47.87		
5.5		Planta SADASI S.A.			Diseño para Lab.	
	MATERIAL	CANTIDAD kg/m³	CANTIDAD kg/0.221m³	CANTIDAD kg/0.0221m³	CANTIDAD kg/m³	CANTIDAD kg/0.221m³
					CANTIDAD kg/0.0221m³	CANTIDAD kg/0.0221m³
	Cemento	207.00	45.83	4.58	243.95	54.01
	Arena	980.00	216.95	21.70	875.14	193.74
	Grava	761.00	168.47	16.85	816.89	180.85
	Agua	170.00	37.63	3.76	224.44	49.69
	Aditivo WRDA 64 (ml)	1,463.68	324.03	32.40	713.54	157.97
	Aditivo DARACEM 55 (ml)	975.79	216.02	21.60	951.39	210.62

2.2 Diseño de concreto con materiales andesíticos con relación A/C: 0.927 del 10/Nov/05, con agregado grueso de calizas y agregado fino de andesita.

DISEÑO Y DOSIFICACIÓN DE CONCRETO "CBR" 10/NOV/05						
CALIZAS						
1.- Especificaciones de Obra						
1.1	Tipo de Construcción.....: Concreto en muros reforzados					
1.2	Exposición.....: Mediana (muro con exposición a ambiente no agresivo)					
1.3	T. M. A. (in, mm).....	3/4	19.05			
1.4	Revenimiento (cm).....	de	7.5	a	10	
1.5	Resistencia nominal a compresión a 28 días (Mpa, kg/cm ²):					
			14.71	150		
1.6	Peso Unitario del Agua (kg/m ³).....: 1,000					
1.7	Aditivo plastificante WRDA 64 dosificación de (ml/100 kg).....		195	a	390	
1.8	Aditivo plastificante de rango medio DARACEM 55 dosis de.....		190	a	590	
2.- Características de los materiales seleccionados						
		Cemento CPC 40	Aditivo WRDA 64	Agregado Fino	Aditivo DARACEM 55	Agregado Grueso
2.1	Densidad Relativa (gr/cm ³)	3.10	1.21	2.670	1.28	2.364
2.2	Peso Unitario Seco (kg/m ³)	3,100		2,206.86		2,646.462
2.3	Peso Unitario Varillado en Seco (kg/m ³)	-		1,669.46		1,485.80
2.4	Módulo de Finura	-		2.644		4.146
2.5	Humedad de la condición SSS (%)	-		9.82%		0.12%
2.6	Absorción de la condición SSS (%)	-		6.65%		0.89%
3.- Cálculo de las proporciones de la mezcla (Bases SSS, kg/m³)						
3.1	Revenimiento (cm).....		7.5	a	10	
3.2	T. M. A. (in, mm).....		3/4	19.05		
3.3.1	Contenido de agua de mezclado (concreto sin inclusión de aire).....					
					205	
	Contenido de agua con -10% por aditivo.....					
					184.5	
3.3.2	Cantidad aproximada de aire atrapado.....					
					2%	
3.4.1	Resistencia promedio considerando desviación estándar Mpa, kg/cm ² :				17.07	174.07
	ITEM	ESPECIMEN	F'c (KG/CM ²)	P lim inf	t	
	1	M-1-22	205.05	2/10	0.84	
	2	M-1-22	222.29			
	3	M-1-13	216.11			
	4	M-1-20	209.41			
	5	M-1-23	210.68			
	6	M _N -2-11	171.77			
	7	M _N -2-06	163.22			
	8	M _N -2-03	163.62			
	9	M _N -2-10	169.85			
	10	M _N -2-05	163.17			
	11	M _g -3-26	230.62			
	12	M _A -3-15	203.82			
	13	M _g -3-19	220.17			
	14	M _A -3-16	209.35			
	15	M _N -3-04	257.86			
	MEDIA:		201.13			
	DESV. STD.:		28.66			
	F'cr =		174.07			
			(KG/CM ²)			
3.4.2	Relación agua/cemento.....: 0.912					
3.5	Contenido de Cemento (kg).....: 202.35					
3.6.1	Fracción de volumen de grava varillada en seco.....: 0.62					
3.6.2	Volumen de grava varillada en seco.....: 921.19					
3.7.1	Utilizando el método de peso: peso unitario del concreto.....: 1,983.87					
3.7.2	Peso de la Arena.....: 655.33					
4.- Utilizando el MÉTODO DE VOLUMEN ABSOLUTO						
4.1	Volumen desplazado por el agua (m ³).....: 0.185					
4.2	Volumen desplazado por el cemento (m ³).....: 0.065					
4.3	Volumen desplazado por la grava (m ³).....: 0.348					
4.4	Volumen desplazado por el aire (m ³).....: 0.020					
				SUMA	0.618	
4.5.1	Volumen desplazado por la arena (m ³).....: 0.382					
4.5.2	Peso de la Arena (Kg).....: 843.33					
4.6	Peso Volumétrico del Concreto (kg/m ³).....: 2,151.37					

APÉNDICE B DISEÑO Y DOSIFICACIÓN DE CONCRETO DE BAJA RESISTENCIA

Puesto que el método de **volumen absoluto es más exacto**, las proporciones determinadas por este método serán las utilizadas.

MATERIAL	SECO	HÚMEDO					
	CANTIDAD kg/m ³	CANTIDAD kg/m ³					
Cemento	202.3	202.3					
Arena	843.3	926.1					
Grava	921.2	922.3					
Agua	184.5	164.9					
Peso Volumétrico (kg/m³)	2,151.4	2,215.7					
5.- Ajuste de la mezcla de prueba en laboratorio							
5.1	Ajuste por Húmedad	kg/m ³	%	kg Agua +			
	Agregado Fino	843.33	9.82%	82.815			
	Agregado Grueso	921.19	0.12%	1.105			
				83.921			
5.2	Ajuste por Absorción	kg/m ³	%	kg Agua -			
	Agregado Fino	843.33	6.65%	56.082			
	Agregado Grueso	921.19	0.89%	8.199			
				64.280			
5.3	Cantidad de Agua a incrementar o reducir.....			-19.640			
				DISEÑO	SADASI		
5.4	Ajuste por Aditivo	ml/100kg cem	ml/100kg cem	Cemento kg/m ³	Aditivo (ml/m ³)		
	Aditivo WRDA 64	292.5	600	202.35	591.9		
	Aditivo DARACEM 55	390.0	400		789.2	809.4	
	MATERIAL	AGREGADOS SSS kg/m ³	AGREGADOS SSS kg/m ³ LT de Concreto	Prop. De la mezcla para la 1ra. Mezcla de prueba (kg)			
			194.886	19.489			
	Cemento	202.35	39.43	3.94			
	Arena	843.33	164.35	16.44			
	Grava	921.19	179.53	17.95			
	Agua	163.48	31.86	3.19			
	Aditivo WRDA 64	591.86	115.35	11.53			
	Aditivo DARACEM 55	789.15	153.79	15.38			
	Total	2,132.08	415.51	41.55			
5.5		Planta SADASI S.A.		Diseño en laboratorio II UNAM			
	MATERIAL	CANTIDAD kg/m ³	% de Volumen	CANTIDAD kg/m ³	% de Volumen	CANTIDAD kg/0.220m ³	CANTIDAD kg/0.0220m ³
	Cemento	207.00	9.77%	202.35	9.50%	39.43	3.94
	Arena	980.00	46.27%	843.33	39.59%	164.35	16.44
	Grava	761.00	35.93%	921.19	43.24%	179.53	17.95
	Agua	170.00	8.03%	163.48	7.67%	31.86	3.19
	Aditivo WRDA 64 (ml)	1,214.08	-	591.86	-	115.35	11.53
	Aditivo DARACEM 55 (ml)	809.39	-	789.15	-	153.79	15.38
		2,118.00		2,130.35			
	AJUSTE CON 600ML DE AGUA		600				
5.5		Planta SADASI S.A.		Diseño en laboratorio II UNAM			
	MATERIAL	CANTIDAD kg/m ³	% de Volumen	CANTIDAD kg/m ³	% de Volumen	CANTIDAD kg/0.220m ³	CANTIDAD kg/0.0220m ³
	Cemento	207.00	9.77%	202.35	9.50%	39.43	3.94
	Arena	980.00	46.27%	843.33	39.59%	164.35	16.44
	Grava	761.00	35.93%	921.19	43.24%	179.53	17.95
	Agua	170.00	8.03%	164.08	7.70%	32.46	3.19
	Aditivo WRDA 64 (ml)	1,214.08	-	591.86	-	115.35	11.53
	Aditivo DARACEM 55 (ml)	809.39	-	789.15	-	153.79	15.38
		2,118.00		2,130.95			
			(ab - h)	Lt			
	Arena	164.35	-3.17%	-5.21		Agua	32.46
	Grava	179.53	0.77%	1.38		Aditivo(64)	0.115
				-3.83		Aditivo(55)	0.154
						Total de Agua	32.73
	Relación Agua/Cementante=	36.56	0.927				3.83
		39.43				Agua de Mezclado	36.56

2.3 Diseño de concreto con materiales andesíticos con relación A/C: 0.912 del 15/Nov/05, con agregado grueso y fino andesíticos.

DISEÑO Y DOSIFICACIÓN DE CONCRETO "CBR" 15/NOV/05								
1.- Especificaciones de Obra								
1.1	Tipo de Construcción.....: Concreto en muros reforzados							
1.2	Exposición.....: Mediana (muro con exposición a ambiente no agresivo)							
1.3	T. M. A. (in, mm).....: 3/4		19.05					
1.4	Revenimiento (cm).....: de 7.5		a 10					
1.5	Resistencia nominal a compresión a 28 días (Mpa, kg/cm ²):		14.71		150			
1.6	Peso Unitario del Agua (kg/m ³).....:					1,000		
1.7	Aditivo plastificante WRDA 64 dosificación de (ml/100 kg).....:					195	a	390
1.8	Aditivo plastificante de rango medio DARACEM 55 dosif de.....:					190	a	590
2.- Características de los materiales seleccionados								
		Cemento CPC 40	Aditivo WRDA 64	Agregado Fino	Aditivo DARACEM 55	Agregado Grueso		
2.1	Densidad Relativa (gr/cm ³)		3.10	1.21	2.367	1.28	2.326	
2.2	Peso Unitario Seco (kg/m ³)		3,100		2,218.93		2,198.14	
2.3	Peso Unitario Varillado en Seco (kg/m ³)		-		1,653.05		1,303.87	
2.4	Módulo de Finura		-		2.895		4.759	
2.5	Humedad de la condición SSS (%)		-		3.34%		1.02%	
2.6	Absorción de la condición SSS (%)		-		6.25%		5.48%	
3.- Cálculo de las proporciones de la mezcla (Bases SSS, kg/m³)								
3.1	Revenimiento (cm).....:		7.5		a 10			
3.2	T. M. A. (in, mm).....:		3/4		19.05			
3.3.1	Contenido de agua de mezclado (concreto sin inclusión de aire).....:					205		
	Contenido de agua con -10% por aditivo.....:					184.5		
3.3.2	Cantidad aproximada de aire atrapado.....:					2%		
3.4.1	Resistencia promedio considerando desviación estándar Mpa, kg/cm ² :					16.77		171.00
	ITEM	ESPECÍMEN	F'c (KG/CM ²)		P lim inf	t		
	1	M-1-22	205.05		2/10	0.84		
	2	M-1-22	222.29					
	3	M-1-13	216.11					
	4	M-1-20	209.41					
	5	M-1-23	210.68					
	6	M _N -2-11	171.77					
	7	M _N -2-06	163.22					
	8	M _N -2-03	163.62					
	9	M _N -2-10	169.85					
	10	M _N -2-05	163.17					
	MEDIA:		189.52					
	DESV. STD.:		25.00					
	F'cr =		171.00	(KG/CM ²)				
3.4.2	Relación agua/cemento.....:					0.912		
3.5	Contenido de Cemento (kg).....:					202.35		
3.6.1	Fracción de volumen de grava varillada en seco.....:					0.62		
3.6.2	Volumen de grava varillada en seco.....:					808.40		
3.7.1	Utilizando el método de peso: peso unitario del concreto.....:					1,983.87		
3.7.2	Peso de la Arena.....:					768.12		
4.- Utilizando el MÉTODO DE VOLUMEN ABSOLUTO								
4.1	Volumen desplazado por el agua (m ³).....:					0.185		
4.2	Volumen desplazado por el cemento (m ³).....:					0.065		
4.3	Volumen desplazado por la grava (m ³).....:					0.368		
4.4	Volumen desplazado por el aire (m ³).....:					0.020		
						SUMA		
						0.638		
4.5.1	Volumen desplazado por la arena (m ³).....:					0.362		
4.5.2	Peso de la Arena (Kg).....:					804.28		
4.6	Peso Volumétrico del Concreto (kg/m ³).....:					1,999.52		

Puesto que el método de **volumen absoluto es más exacto**, las proporciones determinadas por este método serán las utilizadas.

MATERIAL	SECO	HÚMEDO				
	CANTIDAD kg/m ³	CANTIDAD kg/m ³				
Cemento	202.3	202.3				
Arena	804.3	831.1				
Grava	808.4	816.6				
Agua	184.5	244.0				
Peso Volumétrico (kg/m³)	1,999.5	2,094.1				
A/c =	0.912	1.206				
5.- Ajuste de la mezcla de prueba en laboratorio						
5.1 Ajuste por Humedad	kg/m ³	%	kg Agua +			
Agregado Fino	804.28	3.34%	26.823			
Agregado Grueso	808.40	1.02%	8.246			
			35.068			
5.2 Ajuste por Absorción	kg/m ³	%	kg Agua -			
Agregado Fino	804.28	6.25%	50.268			
Agregado Grueso	808.40	5.48%	44.300			
			94.568			
5.3 Cantidad de Agua a incrementar o reducir.....:			59.499			
			DISEÑO	SADASI		
5.4 Ajuste por Aditivo	ml/100kg cen	ml/100kg cen	Cemento kg/m ³	Aditivo (ml/m ³)		
Aditivo WRDA 64	292.5	600	202.35	591.9	1,214.1	
Aditivo DARACEM 55	390.0	400		789.2	809.4	
MATERIAL	AGREGADOS SSS kg/m ³	AGREGADOS SSS kg/m ³ LT de Concreto	Prop. De la mezcla para la 1ra. Mezcla de prueba (kg)			
		194.886	19.489			
Cemento	202.35	39.43	3.94			
Arena	804.28	156.74	15.67			
Grava	808.40	157.55	15.75			
Agua	242.62	47.28	4.73			
Aditivo WRDA 64	591.86	115.35	11.53			
Aditivo DARACEM 55	789.15	153.79	15.38			
Total	2,059.37	401.34	40.13			
5.5						
Planta SADASI S.A.			Diseño para Lab.			
MATERIAL	CANTIDAD kg/m ³	% de Volumen	CANTIDAD kg/m ³	% de Volumen	CANTIDAD kg/0.195m ³	CANTIDAD kg/0.0195m ³
Cemento	207.00	9.77%	202.35	9.83%	39.43	3.94
Arena	980.00	46.27%	804.28	39.09%	156.74	15.67
Grava	761.00	35.93%	808.40	39.29%	157.55	15.75
Agua	170.00	8.03%	242.62	11.79%	47.28	4.73
Aditivo WRDA 64 (ml)	1,214.08	-	591.86	-	115.35	11.53
Aditivo DARACEM 55 (ml)	809.39	-	789.15	-	153.79	15.38
	2,118.00		2,057.64			
		(ab - h)				
Arena	156.74	2.92%	4.57		Agua	47.28
Grava	157.55	4.46%	7.03		Aditivo(64)	0.115
			11.60		Aditivo(55)	0.154
					Total de Agua	47.55
Relación	35.96	0.912				-11.60
Agua/Cementante=	39.43				Agua de Mezclado	35.96

APÉNDICE C
FICHAS TÉCNICAS DE ADITIVOS

- 3.1 Aditivo plastificante WRDA 64**
- 3.2 Aditivo plastificante de rango medio DARACEM 55**

3.1 Aditivo plastificante WRDA 64

Aditivo Plastificante • ASTM C 494 Tipo A y Tipo D

Descripción

WRDA®64 es una solución acuosa de compuestos orgánicos complejos basada en un polímero. **WRDA®64** es un líquido de baja viscosidad que viene listo para ser utilizado, el cual ha sido premezclado en fábrica en proporciones exactas, con el fin de minimizar la manipulación, eliminar errores y conjeturas.

WRDA®64 no contiene cloruro de calcio y pesa 1,21 kg/L (10,1 lb/gal) aproximadamente.



Usos

WRDA®64 produce un hormigón con menos contenido de agua (generalmente una reducción de 8 a 10%), mayor plasticidad y resistencia. Se utiliza en plantas de hormigón premezclado, plantas de productos de hormigón y bloques, en trabajos de predeformado y livianos en donde quiera que se produzca hormigón.

Ventajas

WRDA®64 ofrece ventajas significativas sobre plastificantes de un componente único. La reducción del agua y de los tiempos de fraguado es más consistente debido a los componentes del polímero. **WRDA®64** también se comporta especialmente bien en hormigón que contenga cenizas volantes y otras puzolanas.

El uso de **WRDA®64** produce un hormigón plástico que es más trabajable, más fácil de colocar y de lograr el acabado que el hormigón simple o con otro tipo de aditivos. En su estado más endurecido, el hormigón con **WRDA®64** tiene mayor resistencia a la compresión y a la flexión en todas las etapas, que el hormigón no tratado o con aditivos convencionales. El mayor grado de plasticidad obtenido, en comparación con los aditivos plastificantes convencionales, le permite lograr un mejor acabado.

Acabado

Los estucadores han manifestado que la pasta de cemento, o el mortero en un hormigón con **WRDA®64** mejora el estucado. La influencia del **WRDA®64** en el estucado con mezclas pobres ha sido especialmente notable. El estucado y allanado con máquina o manual imparte una superficie suave y tupida.

Dosificación

La dosificación del **WRDA®64** está en el rango de 195 a 390 mL/100 kg (3 a 6 fl oz/100 lb) de cemento. Se requiere de un pre-ensayo para determinar la dosis apropiada para un rendimiento Tipo A y Tipo D. La dosis óptima dependerá de los otros componentes de la mezcla de hormigón, las condiciones de trabajo y las características de rendimiento deseadas.

Equipo dispensador

Se encuentra a disposición una línea completa de equipo dispensador automático y exacto. **WRDA®64** se puede agregar a la mezcla con la arena o con el agua.

Compatibilidad con otros

WRDA®64 es compatible en hormigón con aditivos incorporadores de aire como por ejemplo **Darex®II AEA** y **Daravair®**. Debido a las pocas propiedades de incorporación de aire de **WRDA®64**, la adición de un aditivo incorporador de aire se puede reducir a casi un

25%. Al combinar los efectos separados de incorporación de aire y dispersión, los requerimientos de agua del hormigón se pueden reducir hasta un 15%. **Cada aditivo deberá agregarse por separado.** Ya que **WRDA®64** no contiene cloruro de calcio, es compatible con el cloruro de calcio de las mezclas de hormigón. Nuevamente, cada uno deberá agregarse por separado.

Envase

WRDA®64 es compatible en hormigón con aditivos incorporadores de aire como por ejemplo **Daravair®1000** y **Darex®II AEA**. Es recomendable que **WRDA®64** se utilice en conjunto con un aditivo incorporador de aire para asegurar una protección contra un ataque de hielo y deshielo.

WRDA®64 también es compatible con toda la otra línea de aditivos de G. Es aconsejable que se efectúen pre-enayos en faena con el fin de optimizar las dosis de aditivos y establecer las características del hormigón.

Especificación de los Arquitectos para el Aditivo Plastificante para el Hormigón

El hormigón deberá diseñarse de acuerdo con la Práctica Recomendada de la Norma ACI para la Selección de Proporciones de Hormigón ACI 211. El aditivo plastificante (o plastificante y retardador) deberá ser **WRDA®64**, como el que fabrica **G Construction Products**, o uno equivalente. El aditivo no deberá contener cloruro de calcio. Se deberá utilizar en estricta concordancia con las recomendaciones del fabricante. El aditivo deberá estar en conformidad con la Designación C 494 de la ASTM, para aditivos plastificantes Tipo A (o plastificantes y retardadores Tipo D). La certificación de conformidad deberá estar a disposición en el caso que sea requerida.

El aditivo deberá considerarse como parte del agua total. El aditivo será entregado como un producto líquido listo para ser utilizado y no requerirá ser mezclado en la planta de dosificación o faena.

3.2 Aditivo plastificante de rango medio

DARACEM 55

Aditivo Plastificante de Rango Medio • ASTM C 494, Tipo A

Descripción

Daracem®55 es un plastificante de rango medio específicamente formulado para producir hormigones con características de acabado notablemente mejoradas y tiempos de fraguado normales. Siendo efectivo para un amplio rango de dosificaciones, **Daracem®55** combina los beneficios de plastificantes de rango alto y normal permitiendo el control final de la colocación del hormigón y propiedades del acabado de nivel superior.



Daracem®55 es una solución acuosa de compuestos orgánicos complejos, cada uno de los cuales contribuye de manera exclusiva a las propiedades finales del hormigón. Contiene agentes de acabado patentados que otorgan un rendimiento superior a los productos plastificantes convencionales. **Daracem®55** se ha formulado con un catalizador que promueve una hidratación más completa del cemento Pórtland para asegurar una resistencia superior. Está fabricado bajo controles estrictos que permiten un rendimiento predecible y uniforme. **Daracem®55** no contiene cloruro de calcio. Se suministra como líquido de baja viscosidad de color café oscuro. Un litro pesa 1,28 kg (10,7 lbs/gal) aproximadamente.

Usos

Daracem®55 produce un hormigón con menor contenido de agua, mejores propiedades para la colocación, y un mejor acabado. Produce un hormigón más durable y menos permeable. **Daracem®55** se utiliza en hormigón premezclado, en faenas, y en plantas pavimentadoras de hormigón para hormigón normal y liviano, en bloques, y prefabricado. Le otorga la "habilidad" a la superficie del hormigón de ser más fácil para allanar y para el trabajo de deslizamiento. **Daracem®55** es también efectivo en mezclas compensadas de cenizas volantes y escoria.

Ventajas

Daracem®55 ofrece ventajas significativas en comparación a los plastificantes convencionales. El trabajo en terreno y en laboratorio ha demostrado en forma consistente:

- **Trabajabilidad y Acabado de Primer Nivel**

Las capacidades plastificantes excepcionales permiten la producción de hormigón a conos más altos con una mejor retención de agua y cohesión interna, entregando un hormigón menos "pegajoso" con mejores propiedades de colocación. Formulado con componentes probados que mejoran notablemente el acabado, **Daracem®55** controla la exudación al mismo tiempo que trae el mortero a la superficie. Los estucadores han manifestado que el hormigón ha mejorado sus características para el platabado y allanado.

La influencia de **Daracem®55** en el acabado de mezclas pobres ha sido particularmente notable. El estucado y allanado con máquina o manual imparte una superficie suave y tupida en un menor tiempo y mano de obra.

- **Tiempos de Fraguado Neutral**

Formulado con un agente de control de fraguado, **Daracem®55** proporciona características de fraguado normal en todo el rango de las distintas dosis. Esto permite una mayor reducción del agua y un aumento en el descenso de cono sin aumentar en forma significativa los tiempos de fraguado. Esto permite variar la adición en base a los requerimientos específicos del trabajo y a las condiciones climáticas.

- **Resistencia Superior**

Las propiedades de reducción de agua hasta un 12% y las características de dispersión permiten la producción de hormigones con una menor relación agua-cemento y una hidratación más completa. El efecto combinado resulta en un incremento en la resistencia a la compresión y a la flexión en todas las etapas.

Dosificación

La dosis de **Daracem®55** es 190 a 590 mL/100 kg (3 a 9 fl oz/100 lb) de cemento. En general se logran excelentes resultados entre 325 a 460 mL/100 kg (5 a 7 fl oz/100 lb). La adición óptima depende de los otros componentes de la mezcla de hormigón, las condiciones de trabajo y las características de rendimiento deseadas.

Compatibilidad con otros

Daracem®55 es compatible con todos los aditivos incorporadores de aire como **Darex®II AEA** y **Daravair®**. Debido al efecto sinérgico de **Daracem®55**, la cantidad de incorporación de aire se podrá reducir entre un 25 y 50% cuando se adiciona a hormigón con **Daracem®55**. Al combinar los efectos separados de incorporación de aire y dispersión, el requerimiento de agua del hormigón puede reducirse hasta 15%. Cada aditivo debe agregarse al hormigón en forma separada.

Equipo Dispensador

Se encuentra a disposición una línea completa de equipo dispensador automático y exacto. **Daracem®55** se puede agregar a la mezcla de hormigón en la arena o en la carga de agua.

Envase

Daracem®55 se encuentra disponible a granel, el cual se entrega dosificado en camiones tanques, y tambores de 210 L (55 gal). **Daracem®55** no contiene ingredientes inflamables. Se congelará a casi -9°C (15°F), pero recuperará su resistencia total después del deshielo y de agitarlo completamente en forma mecánica.

Especificación de Arquitectos

El hormigón deberá diseñarse de acuerdo con la Práctica Recomendada de la Norma ACI para la Selección de Proporciones de Hormigón, ACI 211.

El aditivo plastificante deberá ser un aditivo plastificante de rango medio como **Daracem®55** fabricado por **G Construction Products** o uno equivalente. El aditivo no deberá contener cloruro de calcio. Deberá estar en conformidad con los requerimientos de Especificaciones para Aditivos Químicos para el Hormigón, Designación C 494 de la ASTM como un aditivo Tipo A. La certificación de conformidad deberá estar a disposición en el caso que sea requerida. El aditivo deberá considerarse como parte del agua total para la mezcla. El aditivo se entregará como un producto líquido listo para ser utilizado y no necesitará mezclarse en la planta de dosificación o en faena.

APÉNDICE D

RESUMEN GENERAL DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO (CBR)

	MEZCLA 1 (17/AGO/05)	MEZCLA 2 (30/AGO/05)	MEZCLA 3 (22/SEP/05)	MEZCLA 4 (24/OCT/05)	MEZCLA 6 (15/NOV/05)	MEZCLA 5 (10/NOV/05)
DOSIFICACIÓN Unidades por m³						
Cemento Portland CPC 40 (Kg)	211.00	176.00	207.00	243.95	202.35	202.35
Agregado Grueso (Mezcla 1,2,3,4 y 6 andesítico, mezcla 5 calizo; 19 mm, 3/4"), Kg	830.00	905.00	835.00	816.89	808.40	921.19
Agregado Fino (Andesítico), Kg	890.00	855.00	860.00	875.14	804.28	843.33
Agua (ℓ)	171.00	163.00	170.00	224.44	242.62	164.08
Aditivo Plastificante • ASTM C 494 Tipo A y Tipo D (Mca.WRDA 64), ml	844.00	704.00	828.00	713.54	591.86	591.86
Aditivo Plastificante de Rango Medio • ASTM C 494, (Tipo A Mca.DARACEM 55), ml	844.00	880.00	1,035.00	951.39	789.15	789.15
Relación A/C	0.810	0.926	0.821	0.756	0.912	0.927
Relación grava/arena comprendida 50/50 a 62/38	48	51	49	48	50	52
	52	49	51	52	50	48
Propiedades del Concreto Fresco						
Revenimiento, cm	16	17	15	16	21	15
Masa Volumétrica, kg/m ³	2,165	2,121	2,158	2,154	2,147	2,261
Contenido de Aire, %	2.8	2.3	2.2	2.6	2.8	2.5
Temperatura del Concreto, °C	18	23	22	22	18	18
Propiedades del Concreto Endurecido						
Resistencia a Compresión de Cilindros de 150 x 300 mm, sometidos a curado húmedo						
FC 3 DIAS	108.18	83.64	113.03	148.27	87.78	96.00
FC 7 DIAS	143.91	130.75	139.35	200.00	135.09	128.04
FC 14 DIAS	172.90	152.95	200.61	245.43	150.83	164.78
FC 28 DIAS	213.67	167.50	217.22	264.79	175.53	177.04
FC 90 DIAS	266.08	220.00	280.32	293.91	204.78	210.11

Resistencia a Tensión de Cilindros de 150 x 300 mm, sometidos a curado húmedo						
F_{CT} 28 DÍAS	17.63	15.33	21.05	18.75	17.49	17.77
Resistencia a Flexión de Vigas de 150 x 150 mm x 600 mm, sometidas a curado húmedo						
M_R 28 DÍAS	29.92	26.80	33.46	37.24	31.04	31.98
Módulo de Elasticidad de Cilindros de 150 x 300 mm, sometidos a curado húmedo						
28 DÍAS	130,712.61	88,555.10	140,054.44	137,848.78	139,229.37	240,784.69
90 DÍAS	177,693.60	135,047.63	147,361.00	161,505.67	173,608.91	260,999.42
Relación de Poisson de Cilindros de 150 x 300 mm, sometidos a curado húmedo						
28 DÍAS	N/A	0.161	0.230	0.286	0.237	0.295
90 DÍAS	0.253	0.219	0.257	0.271	0.288	0.286
Permeabilidad de Iones de cloruro en cilindros de 50mm de altura x Ø100 mm, sometidos a curado húmedo						
28 DÍAS	7.598	7.445	6.434	6.221	6.710	5.783
90 DÍAS	3.223	3.175	-	3.239	2.938	2.623
Relación Agua/Cementante	0.810	0.926	0.821	0.756	0.912	0.927
Cambio de longitud del espécimen a edad de 20 semanas	0.132%	0.141%	0.121%	0.122%	0.110%	0.079%
Contracción por Secado de Prismas de 75 x 75 mm x 285 mm	MEZCLA 1	MEZCLA 2	MEZCLA 3	MEZCLA 4	MEZCLA 6	MEZCLA 5
	(17/AGO/05)	(30/AGO/05)	(22/SEP/05)	(24/OCT/05)	(15/NOV/05)	(10/NOV/05)
ϵ_{atm} 7 días, millonésimos	352.19	377.29	530.55	529.58	355.14	273.19
ϵ_{atm} 14 días, millonésimos	571.55	615.00	755.25	756.25	554.96	418.15
ϵ_{atm} 28 días, millonésimos	830.04	897.85	958.15	962.17	772.19	569.15
ϵ_{atm} 56 días, millonésimos	1,072.59	1,165.98	1,106.83	1,113.81	960.10	694.57
ϵ_{atm} 90 días, millonésimos	1,205.69	1,314.25	1,175.75	1,184.32	1,057.30	757.64
ϵ_{atm} 180 días, millonésimos	1,342.93	1,467.99	1,239.30	1,249.46	1,153.46	818.87
ϵ_{atm} 365 días, millonésimos	1,425.14	1,560.51	1,274.21	1,285.29	1,209.21	853.85
Contracción Diferida (Creep)						
FECHA DE MUESTREO	A/C	F.C.	C_U	C_U CORREGIDO		
MEZCLA 2 (30/AGO/05), AGREGADOS ANDESÍTICOS	0.926	0.806	3.41	4.23		
MEZCLA 5 (10/NOV/05), AGREGADO GRUESO CALIZO	0.927	0.965	6.03	6.25		

APÉNDICE E

**RELACIONES DEL CONCRETO (CBR) ENDURECIDO:
FC/F'C, M.E., MR Y /F'T**

TABLA A5.1 RELACIÓN ENTRE f'c Y f'c 28 días

COLADO	Tiempo (días)	COMPRESIÓN (kg/cm ²)	fc/f'c
AGREGADOS ANDESÍTICOS			
M-1	0	0	0.000
	3	108.18	0.506
	7	143.91	0.674
	14	172.90	0.809
	28	213.67	1.000
	90	266.08	1.245
M-2	0	0	0.000
	3	83.64	0.499
	7	130.75	0.781
	14	152.95	0.913
	28	167.50	1.000
	90	220.00	1.313
M-3	0	0	0.000
	3	113.03	0.520
	7	139.35	0.642
	14	200.61	0.924
	28	217.22	1.000
	90	280.32	1.290
M-4	0	0	0.000
	3	148.27	0.560
	7	200.00	0.755
	14	245.43	0.927
	28	264.79	1.000
	90	293.91	1.110
M-6	0	0	0.000
	3	87.78	0.500
	7	135.09	0.770
	14	150.83	0.859
	28	175.53	1.000
	90	204.78	1.167
AGREGADO GRUESO CALIZA			
M-5	0	0	0.000
	3	96.00	0.542
	7	128.04	0.723
	14	164.78	0.931
	28	177.04	1.000
	90	210.11	1.187

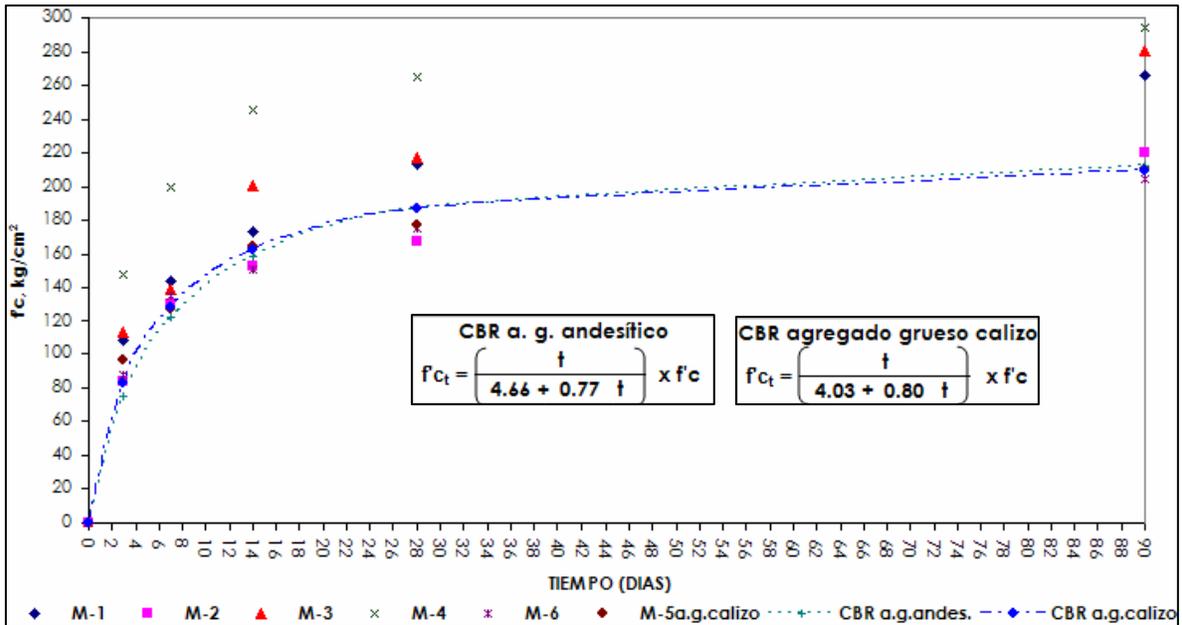


Fig. A5.1 Relación de resistencia a compresión simple f'_c y tiempo t a 90 días

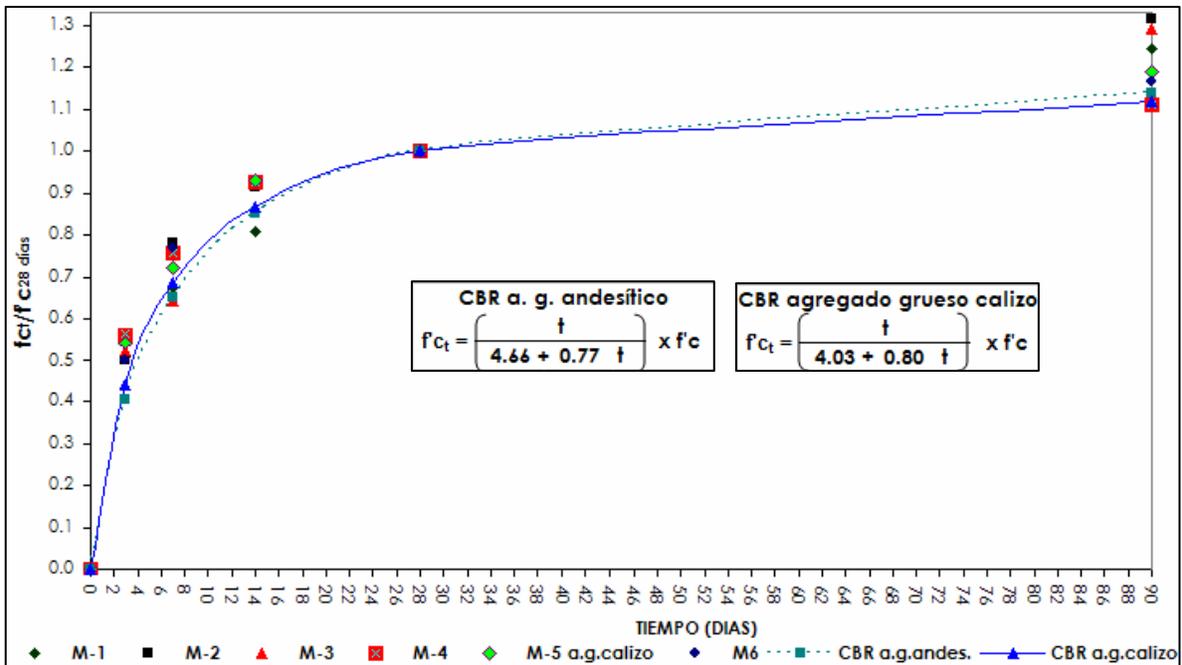


Fig. A5.2 Relación de resistencia relativa $f'_c/f'_{c_{28 \text{ días}}}$ y tiempo t a 90 días

TABLA A5.2 RELACIÓN ENTRE MÓDULO ELÁSTICO Y $\sqrt{f'c}$

COLADO	Tiempo (días)	COMPRESIÓN (kg/cm ²)	M.E. (kg/cm ²)	M.E. / $\sqrt{f'c}$
M-1	28	212.06	130,712.61	8,976.02
M-2		165.54	88,555.10	6,882.68
M-3		229.13	140,054.44	9,252.50
M-4		259.70	137,848.78	8,554.01
M-6		164.35	139,229.37	10,860.31
M-1		90	266.08	177,693.60
M-2	220.00		135,047.63	9,104.98
M-3	280.32		147,361.00	8,801.55
M-4	293.91		161,505.67	9,420.58
M-6	204.78		173,608.91	12,131.92
			PROMEDIO	9,487.81
M-5 CALIZA	28	171.94	240,784.69	18,362.95
M-5 CALIZA	90	210.11	260,999.42	18,006.14

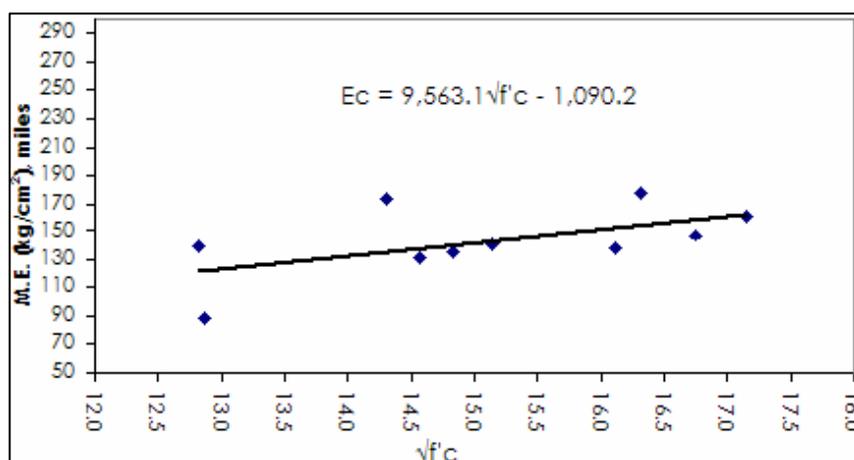


Fig. A5.3 Relación entre $f'c$ y M.E. en concretos con agregados gruesos andesíticos.

TABLA A5.3 RELACIÓN ENTRE f_r y $\sqrt{f'c}$ a 28 días

COLADO	Tiempo (días)	$f'c$ (kg/cm ²)	$f'c_r =$ (kg/cm ²)	$f_r / \sqrt{f'c}$
M-1	28	212.06	17.63	1.21
M-2		165.54	15.33	1.19
M-3		229.13	21.05	1.39
M-4		259.70	18.75	1.16
M-6		164.35	17.49	1.36
M-5 CALIZA		171.94	17.77	1.36

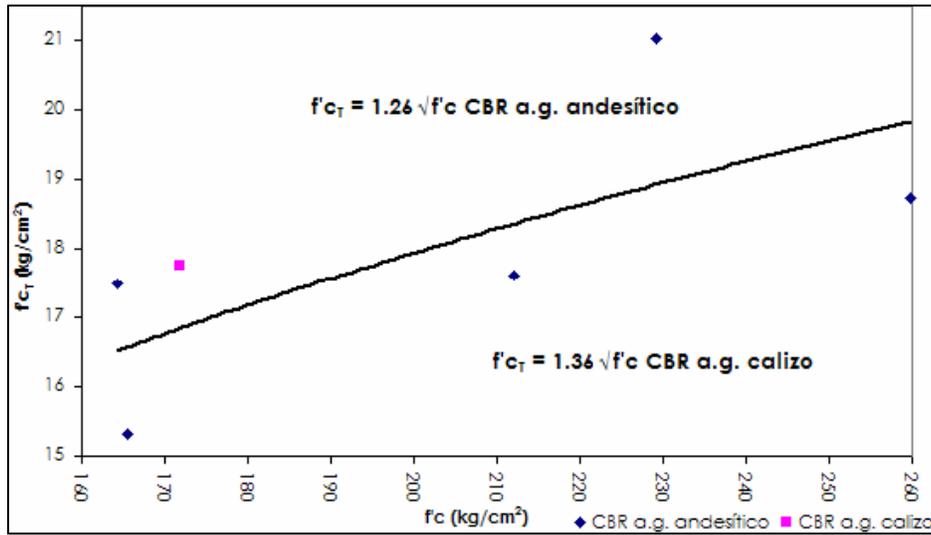


Fig. A5.4 Relación de resistencia a compresión simple f'_c y f'_{ct} a 28 días

TABLA A5.4 RELACIÓN DE RESULTADOS DEL M_R Y f'_c

COLADO	Tiempo (días)	f'_c (kg/cm ²)	M_R (kg/cm ²)	$\sqrt{f'_c}$
M-1	28	212.06	29.92	14.56
M-2		165.54	26.80	12.87
M-3		229.13	33.46	15.14
M-4		259.70	37.24	16.12
M-6		164.35	31.04	12.82
M-5 CALIZA		171.94	31.98	13.11

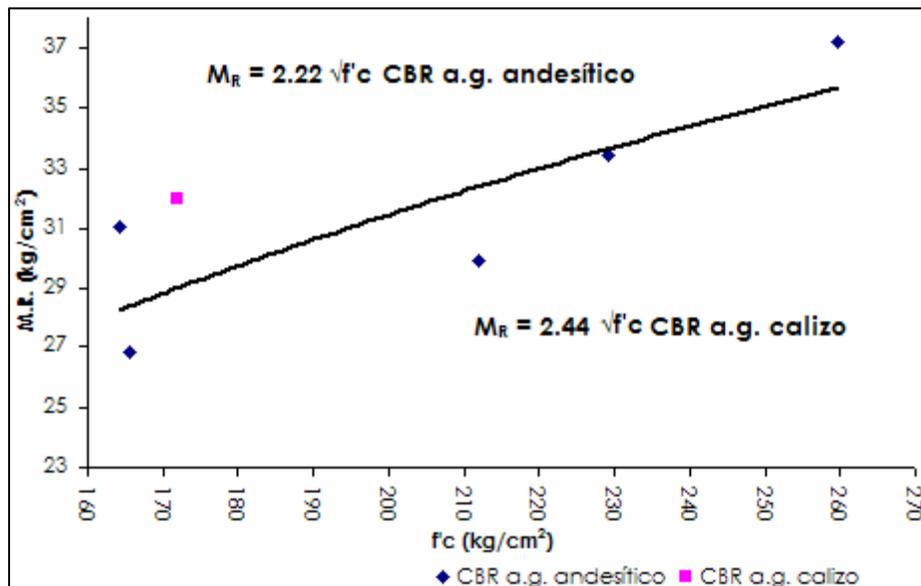


TABLA A5.5 RELACIÓN ENTRE RESISTENCIAS POR COMPRESIÓN, FLEXIÓN Y TENSIÓN DEL CONCRETO

DATOS	Resistencia del Concreto (kgf/cm ²)				Relación (%)			MATERIAL PÉTREO	
	COLADO	RELACIÓN A/C	COMPRESIÓN (kg/cm ²)	MÓDULO DE RUPTURA (kg/cm ²)	TENSIÓN (kg/cm ²)	MODULO DE RUPTURA A LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	RESISTENCIA A LA TENSIÓN A LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	RESISTENCIA A LA TENSIÓN AL MÓDULO DE RUPTURA	AGREGADO GRUESO
M-1	0.810	213.67	29.92	17.63	14.00%	8.25%	58.91%	ANDESITA	ANDESITA
M-2	0.926	167.50	26.80	15.33	16.00%	9.15%	57.20%	ANDESITA	ANDESITA
M-3	0.821	217.22	33.46	21.05	15.40%	9.69%	62.91%	ANDESITA	ANDESITA
M-4	0.756	264.79	37.24	18.75	14.06%	7.08%	50.34%	ANDESITA	ANDESITA
M-6	0.912	175.53	24.57	17.49	14.00%	9.96%	71.17%	ANDESITA	ANDESITA
PROMEDIO	0.845	207.74	30.40	18.05	14.69%	8.83%	60.11%		
M-5	0.927	177.04	31.98	17.77	18.06%	10.04%	55.57%	CALIZA	ANDESITA

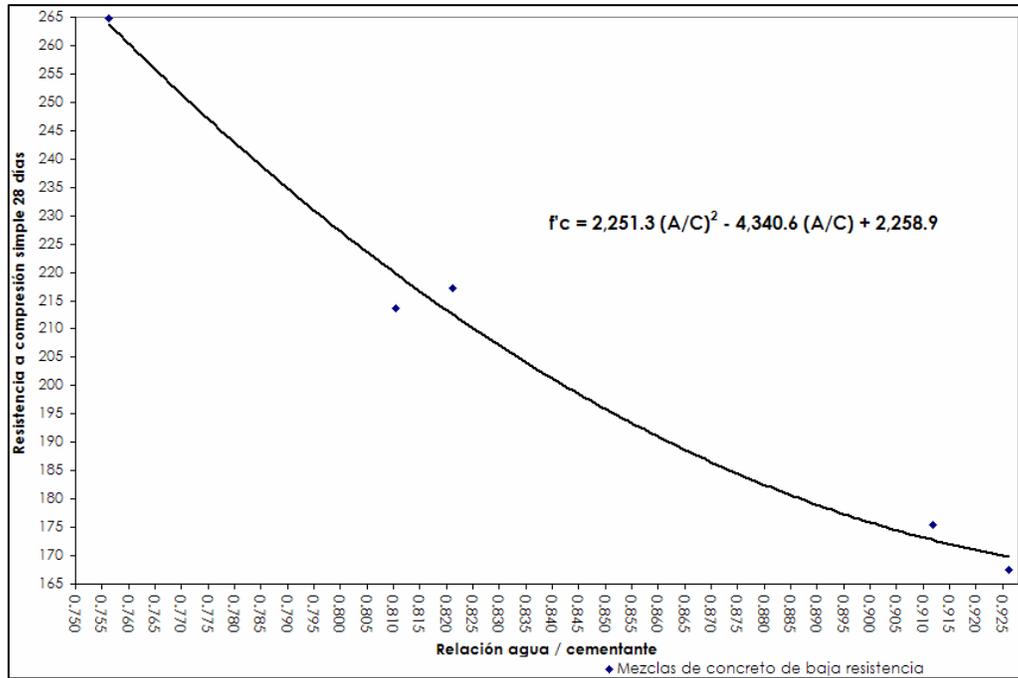


Fig. A5.6 Relación de resistencia a compresión y relación A/C en CBR con agregados gruesos andesíticos.

4.1.4.2 RELACIÓN DE POISSON (μ)

TABLA A5.6 RELACIÓN ENTRE LA RAZÓN DE POISSON Y $f'c$

COLADO	Tiempo (días)	$\sqrt{f'c}$	Relación de Poisson	$\mu / \sqrt{f'c}$
M-2	28	12.87	0.161	1.25E-02
M-3		15.14	0.230	1.52E-02
M-4		16.12	0.286	1.77E-02
M-6		12.82	0.237	1.85E-02
M-1	90	16.31	0.253	1.55E-02
M-2		14.83	0.219	1.48E-02
M-3		16.74	0.257	1.53E-02
M-4		17.14	0.271	1.58E-02
M-6		14.31	0.288	2.01E-02
	28	14.23	0.229	1.60E-02
	90	15.87	0.257	1.63E-02

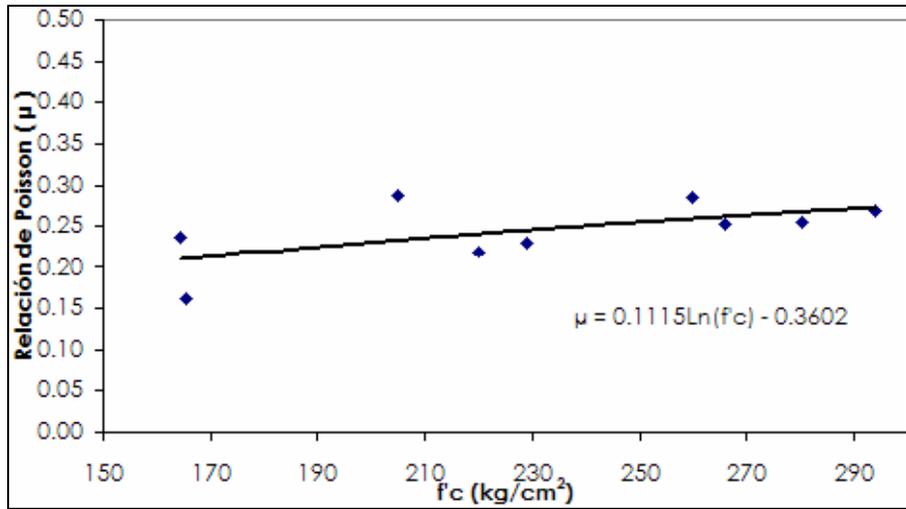


Fig. A5.7 Relación de f'_c y coeficiente de Poisson en concretos con agregados andesíticos

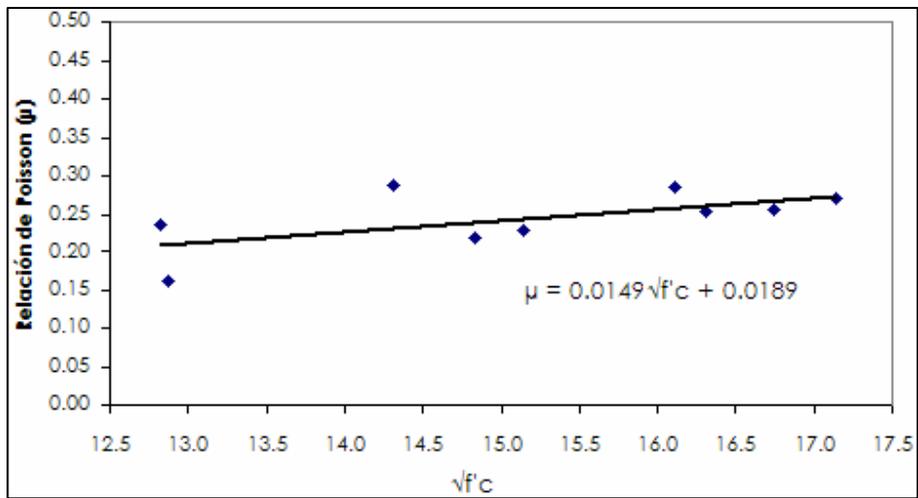


Fig. A5.8 Relación de $\sqrt{f'_c}$ y coeficiente de Poisson en concretos con agregados andesíticos

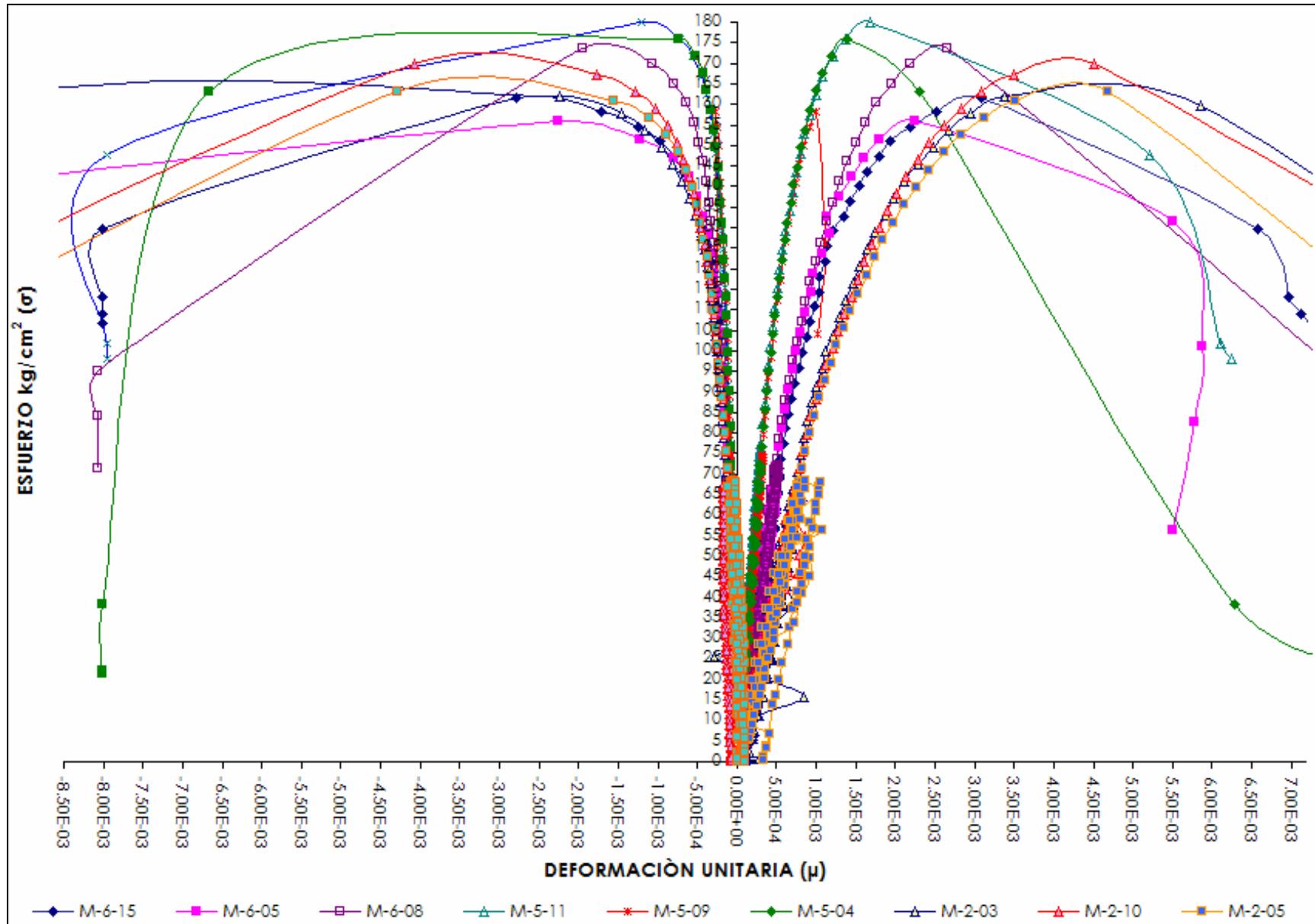


Fig. A5.9 Curva esfuerzo (σ) - deformación unitaria /CE a 28 días

APÉNDICE F

ANÁLISIS DE PLASTICIDAD EN ARENA

Debido al alto porcentaje de finos menores a $75\ \mu\text{m}$ (18.49%) es necesario realizar las pruebas de plasticidad en el material.

La plasticidad es atribuible al contenido de partículas escamosas de tamaño coloidal presentes en los suelos. Las partículas escamosas además son responsables de la alta compresibilidad y la baja permeabilidad de los suelos.

La norma que reglamenta este ensaye es ASTM D-4318 (Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils). Sin embargo, a pesar de la normativa, se genera un importante número de errores, como suele suceder en la ejecución del ensayo debido a: la dificultad de realizar la ranura en ciertos suelos arenosos, la tendencia de los suelos de baja plasticidad de deslizar por la cuchara en lugar de



Fig. A6.1 Copa de Casagrande

fluir, sensibilidad de pequeñas diferencias en el aparato (forma del ranurador, dureza de la base, la forma de la copa, la rugosidad de la cuchara, etc.), la sensibilidad de la técnica del operador en realizar el ensayo, etc.



Fig. A6.2 Arena con plasticidad cero

La combinación de todos estos factores hace ver lo conflictivo del uso de este método ya que ensayos realizados sobre un mismo suelo dan distintos resultados. Existe un método alternativo donde se minimiza estos errores.

Esencialmente el ensayo de límite líquido es una medida de la resistencia de corte de un suelo blando cuya humedad se acerca al estado líquido. La teoría de plasticidad desarrollada por Ludwig Prandtl estableció una relación entre la resistencia de corte y la resistencia a penetración de un suelo. Entonces podemos decir que el ensayo de penetración es una medida válida de límite líquido.

El penetrómetro utilizado es el mostrado en la Fig. A6.3, donde una penetración de 10 mm indica el límite líquido.

En este caso, en el material no se pudo determinar el límite plástico, por lo tanto es una arena *no plástica*, y el índice plástico es igual a cero.

El índice de plasticidad indica el rango de humedad a través del cual los materiales con cohesión tienen propiedades de un material plástico.



Fig. A6.3 Penetrómetro o cono sueco (Izquierda), lupa y plomadas de 30, 60 y 100 g. (Derecha).

5.1 PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO

Se toman 3 muestreos de la arena empleada en la fabricación del concreto de baja resistencia fabricado en campo y laboratorio, las cuales se tamiza por la malla No. 40 y se deja saturar durante 24 horas.



Fig. A6.4 Arena preparada para colocar en molde.

Ya saturado se procede a obtener los límites de Atterberg (Límite líquido, límite plástico y límite de contracción), en la copa de Casagrande se comenzaron a realizar pero a consecuencia de lo señalado anteriormente se calculó únicamente el límite líquido de las tres muestras.

Es conveniente que la primera penetración sea < 5 mm, la segunda de 5 a 10 mm, la tercera de 10 a 15 mm y la cuarta sea arriba de 15 mm; esto se logra agregando agua destilada en proporciones cuidadas.

Cuando se han realizado las cuatro penetraciones en los rangos especificados, en las tres muestras, se pesan en estado húmedo con tara y se colocan en horno a una temperatura de 100°C a 110°C; después de 24 horas se colocan en desecador para que tomen una temperatura de 20 a 23 °C y posteriormente se pesan.



Fig. A6.5 Cono penetrando en molde (superior izquierda), Balanza con capacidad de 160 gr (superior derecha), Arena mal graduada con limo (inferior izquierda) y desecador de material (inferior derecha)

5.2 DIAGNÓSTICO DEL MATERIAL

Por lo anterior, se concluye que el material analizado es una arena con plasticidad nula o baja (tenacidad nula), con textura rugosa, con una denominación cualitativa ligera de índice plástico <5 , clasificación S.U.C.S. SP-SM, arena mal graduada con limo, por lo que la arena resulta adecuada para la fabricación de concreto.

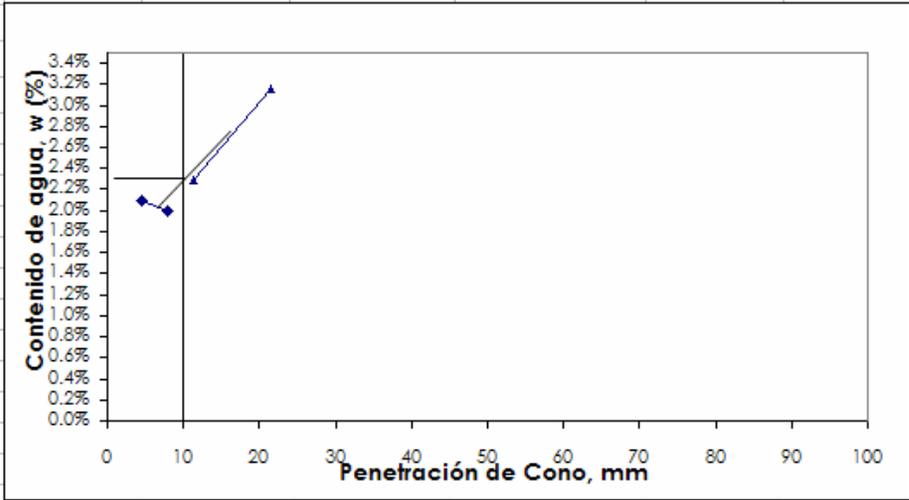
5.2 RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO: Caracterización de Concretos de Baja Resistencia	DESCRIPCION:	
SONDEO:	OPERADOR: Becario José Gpe. Muñiz Rodríguez	
MUESTRA: Muestra #1 tomada de material de la planta concretera	PROF.:	

LIMITE LÍQUIDO	CONO SUECO	Peso de cono (g) =	60	Áng.<	60°
-----------------------	-------------------	--------------------	----	-------	-----

Ensaye No.	Tara No.	Penetración de Cono (mm)	Peso de tara + suelo húmedo (g)	Peso de tara + suelo seco (g)	Peso del agua (g)	Peso de tara (g)	Peso de suelo seco (g)	Contenido de agua (%)	Límite Líquido (%)	Índice de Plasticidad (%)
1	57	4.5	68.703	67.296	1.407	60.638	6.658	2.09%	2.09%	2.09%
2	5	8.0	79.278	77.729	1.549	71.040	6.689	1.99%	1.99%	1.99%
3	321	11.2	71.782	70.174	1.608	63.570	6.604	2.29%	2.29%	2.29%
4	34	21.5	79.232	76.811	2.421	67.960	8.851	3.15%	3.15%	3.15%

Ensaye No.	Tara No.	Peso de tara + suelo húmedo (g)	Peso de tara + suelo seco (g)	Peso del agua (g)	Peso de tara (g)	Peso de suelo seco (g)	Contenido de agua (%)
1							
2							
3							
4							

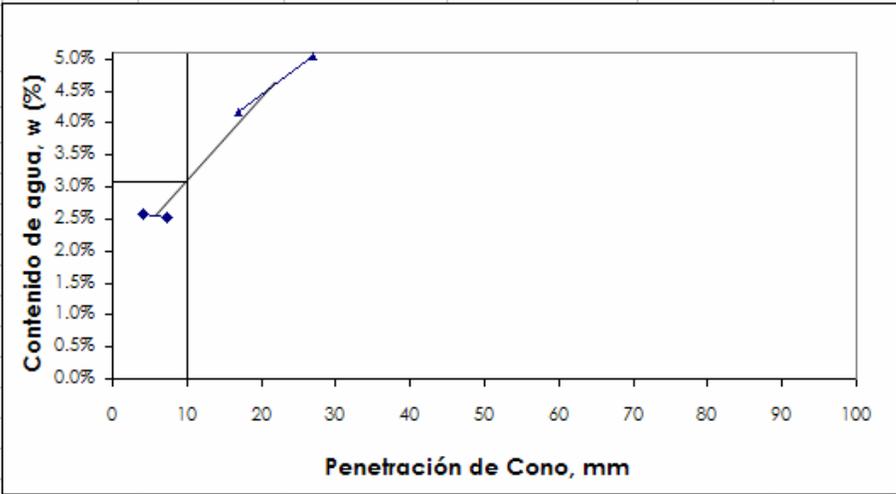


$W_L =$	2.3%
$W_P =$	0%
$I_P =$	2.3%
$L.L. (%) =$	$\frac{P_h - P_s}{P_s}$

PROYECTO: Caracterización de Concretos de Baja Resistencia	DESCRIPCION:	
SONDEO:	OPERADOR: Becario José Gpe. Muñiz Rodríguez	
MUESTRA: Muestra #2 tomada de material de la planta concretera	PROF.:	

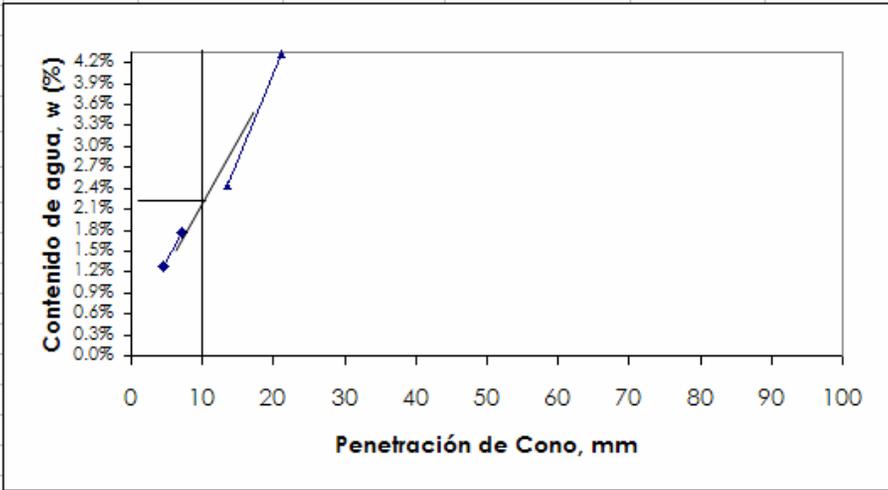
LIMITE LÍQUIDO		CONO SUECO		Peso de cono (g) =	60	Áng.<	60°			
Ensaye No.	Tara No.	Penetración de Cono (mm)	Peso de tara + suelo húmedo (g)	Peso de tara + suelo seco (g)	Peso del agua (g)	Peso de tara (g)	Peso de suelo seco (g)	Contenido de agua (%)	Límite Líquido (%)	Índice de Plasticidad (%)
1	46	4.2	79.210	77.220	1.990	67.970	9.250	2.58%	2.58%	2.58%
2	15	7.2	81.168	79.165	2.003	70.790	8.375	2.53%	2.53%	2.53%
3	16	17.0	86.288	82.824	3.464	70.508	12.316	4.18%	4.18%	4.18%
4	55	27.0	77.556	73.822	3.734	61.426	12.396	5.06%	5.06%	5.06%

LIMITE PLÁSTICO							
Ensaye No.	Tara No.	Peso de tara + suelo húmedo (g)	Peso de tara + suelo seco (g)	Peso del agua (g)	Peso de tara (g)	Peso de suelo seco (g)	Contenido de agua (%)
1			81.06	78.26			
2							
3							
4							



$W_L = 3.1\%$
 $W_P = 0\%$
 $I_P = 3.1\%$
 $L.L. (\%) = \frac{Ph - P_s}{P_s}$

PROYECTO: Caracterización de Concretos de Baja Resistencia SONDEO: MUESTRA: Muestra #3 tomada de material de tolva II UNAM					DESCRIPCION: OPERADOR: Becario José Gpe. Muñiz Rodríguez PROF.:					
LIMITE LÍQUIDO			CONO SUECO	Peso de cono (g) =	60	Áng.<	60°			
Ensaye No.	Tara No.	Penetración de Cono (mm)	Peso de tara + suelo húmedo (g)	Peso de tara + suelo seco (g)	Peso del agua (g)	Peso de tara (g)	Peso de suelo seco (g)	Contenido de agua (%)	Límite Líquido (%)	Índice de Plasticidad (%)
1	33	4.5	72.905	71.985	0.920	67.946	4.039	1.28%	1.28%	1.28%
2	36	7.0	74.475	73.187	1.288	67.920	5.267	1.76%	1.76%	1.76%
3	14	13.5	80.231	78.322	1.909	71.150	7.172	2.44%	2.44%	2.44%
4	2	21.2	87.343	83.725	3.618	71.152	12.573	4.32%	4.32%	4.32%
LIMITE PLÁSTICO										
Ensaye No.	Tara No.	Peso de tara + suelo húmedo (g)	Peso de tara + suelo seco (g)	Peso del agua (g)	Peso de tara (g)	Peso de suelo seco (g)	Contenido de agua (%)			
1										
2										
3										
4										



$W_L = 2.2\%$
 $W_P = 0\%$
 $I_P = 2.2\%$

$$L.L. (\%) = \frac{P_h - P_s}{P_s}$$

APÉNDICE G

CONTRACCIÓN POR SECADO DE CONCRETO MUESTREADO OLLA

TABLA A7.1 ECUACIÓN PARA PREDETERMINAR LA CONTRACCIÓN POR SECADO POR OLLA

Colado 17 Ago 06 N		Colado 17 Ago 06 A			
$\Delta L_{175 \text{ días}} =$	1.335E-03	$\Delta L_{175 \text{ días}} =$	1.295E-03		
$\Delta Lx \% =$	0.134%	$\Delta Lx \% =$	0.130%		
Por lo tanto:		Por lo tanto:			
$(\epsilon_s)_T =$	$\left(\frac{t}{b + t} \right)$	$(\epsilon_s)_U =$	$\left(\frac{t}{b + t} \right)$		
$(\epsilon_s)_T =$	$\left(\frac{t}{30.64 + t} \right)$	1.611E-03	$(\epsilon_s)_T =$	$\left(\frac{t}{23.15 + t} \right)$	1.485E-03

Se puede observar en la tabla A7.1 la diferencia que existe en porcentaje de dos concretos fabricados el mismo día del muestreo.

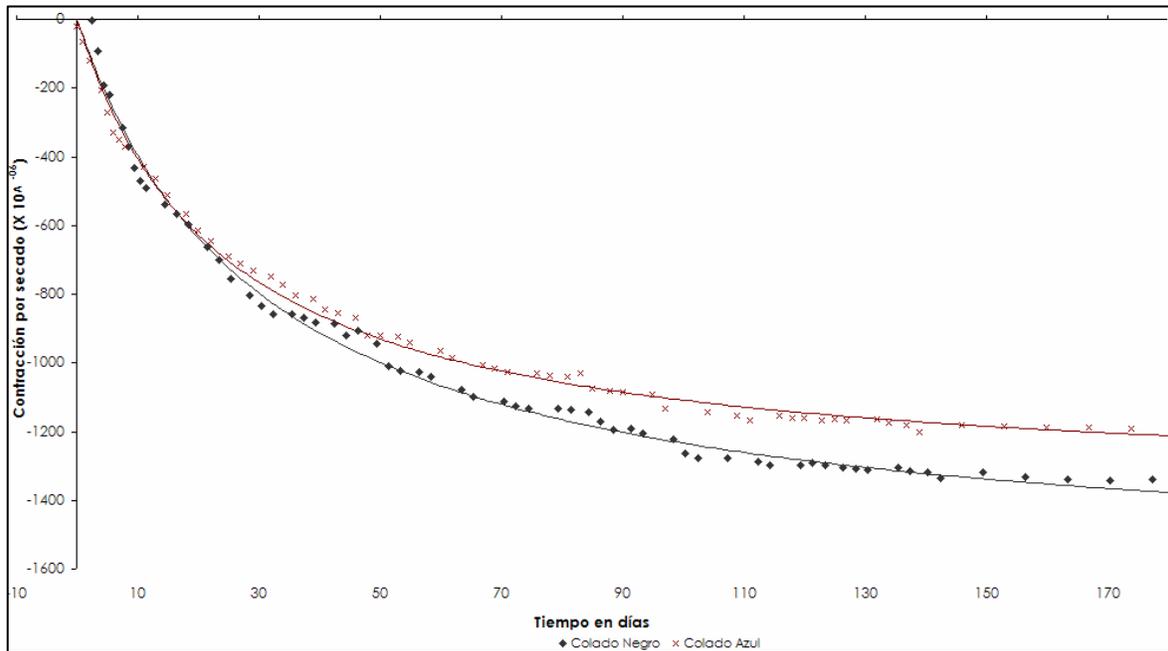


Fig. A7.1 Evolución de curvas de contracción por secado del concreto de la muestra de 17 Ago 05, por olla.

TABLA A7.2 ECUACIÓN PARA PREDETERMINAR LA CONTRACCIÓN POR SECADO POR OLLA

Colado 30 Ago 06 N		Colado 30 Ago 06 A		Colado 30 Ago 06 R		
$\Delta L_{168 \text{ días}} =$	1.415E-03	$\Delta L_{168 \text{ días}} =$	1.378E-03	$\Delta L_{168 \text{ días}} =$	1.445E-03	
$\Delta Lx \% =$	0.142%	$\Delta Lx \% =$	0.138%	$\Delta Lx \% =$	0.145%	
Por lo tanto:		Por lo tanto:		Por lo tanto:		
$(\epsilon_s)_T =$	$\left(\frac{t}{b + t} \right)$	$(\epsilon_s)_U =$	$\left(\frac{t}{b + t} \right)$	$(\epsilon_s)_T =$	$\left(\frac{t}{b + t} \right)$	
$(\epsilon_s)_T =$	$\left(\frac{t}{20.80 + t} \right)$	1.643E-03	$(\epsilon_s)_T =$	$\left(\frac{t}{38.60 + t} \right)$	1.804E-03	
				$(\epsilon_s)_T =$	$\left(\frac{t}{26.55 + t} \right)$	1.731E-03

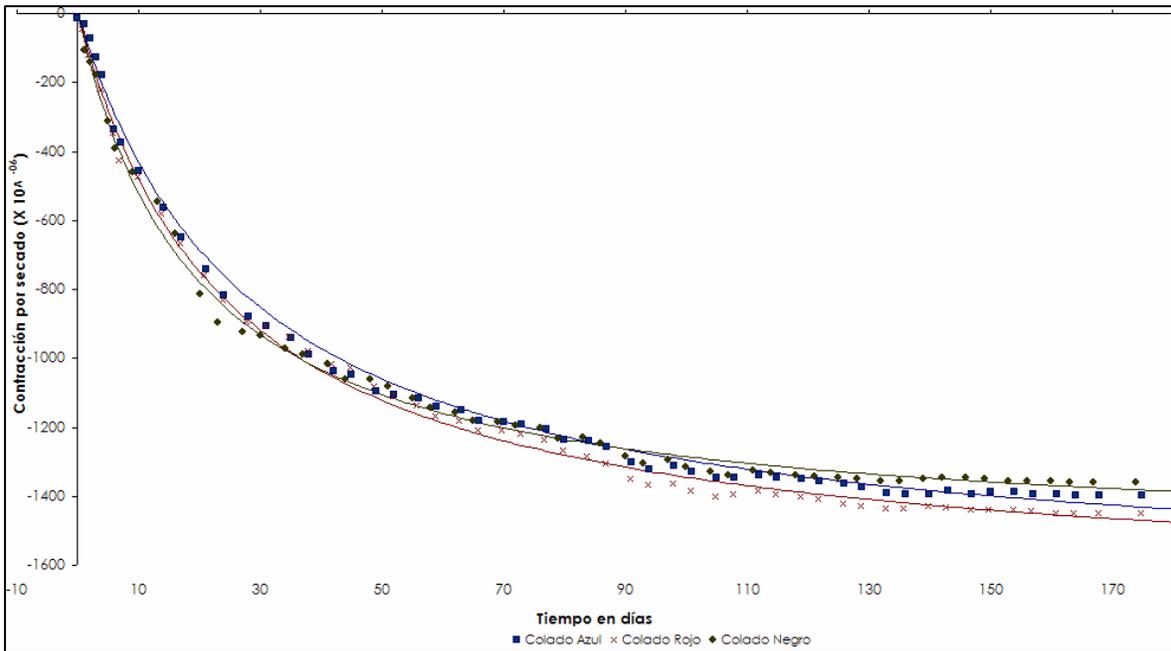


Fig. A7.2 Evolución de curvas de contracción por secado del concreto de la muestra de 30 Ago 05, por olla.

TABLA A7.3 ECUACIÓN PARA PREDETERMINAR LA CONTRACCIÓN POR SECADO POR OLLA

Colado 22 Sep 06 N		Colado 22 Sep 06 A	
$\Delta L_{168 \text{ días}} =$	1.298E-03	$\Delta L_{168 \text{ días}} =$	1.450E-03
$\Delta Lx \% =$	0.130%	$\Delta Lx \% =$	0.145%
Por lo tanto:		Por lo tanto:	
$(\epsilon_s)_T =$	$\left(\frac{t}{b + t} \right)$	$(\epsilon_s)_U =$	$\left(\frac{t}{b + t} \right)$
$(\epsilon_s)_T =$	$\left(\frac{t}{16.49 + t} \right)$ 1.472E-03	$(\epsilon_s)_T =$	$\left(\frac{t}{17.96 + t} \right)$ 1.652E-03

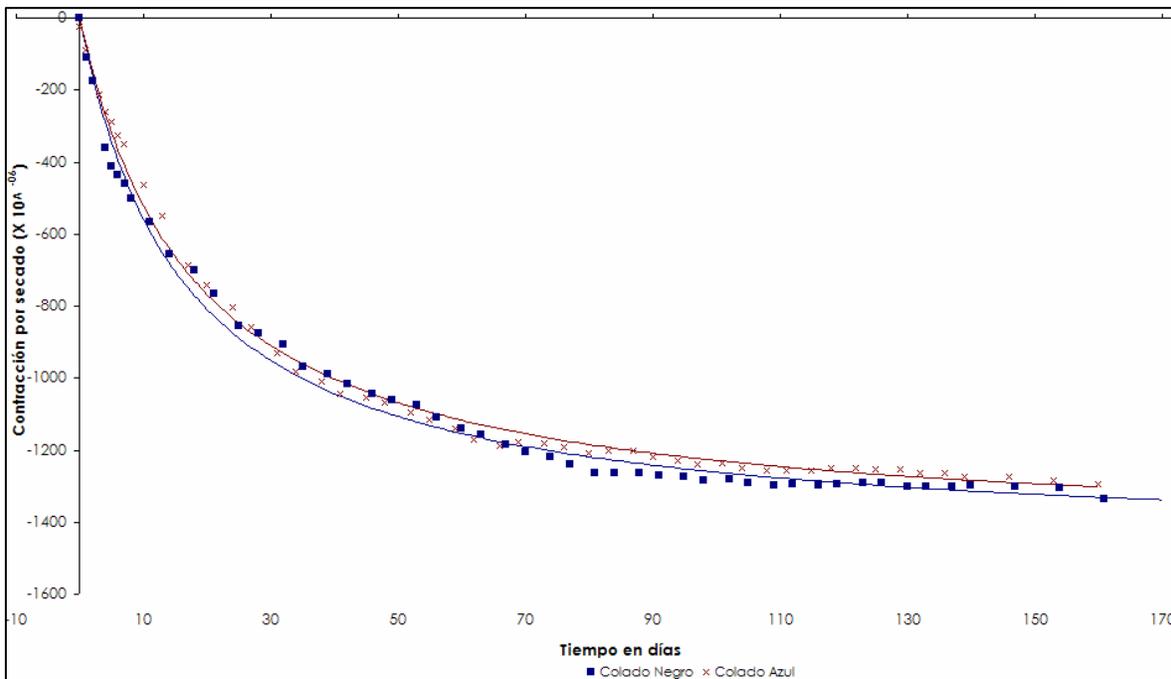


Fig. A7.3 Evolución de curvas de contracción por secado del concreto de la muestra de 22 Sep 05, por olla.

TABLA A7.4 SINTESIS DE EXPRESIONES PARA ESTIMAR LA CONTRACCIÓN POR SECADO

FECHA	ECUACIÓN PARA PREDECIR LA CONTRACCIÓN EN OLLAS PARCIALES	A/C	$\epsilon_c \times 10^{-6}$ a 365 días	$\epsilon_u \times 10^{-6}$
MEZCLA 1 (17/AGO/05)				
OLLA "N"	$(\epsilon_s)_t = \left(\frac{t}{30.64 + t} \right) 1.611E-03$	0.810	1,487	1,611
OLLA "A"	$(\epsilon_s)_t = \left(\frac{t}{23.15 + t} \right) 1.485E-03$		1,397	1,485
MEZCLA 2 (30/AGO/05)				
OLLA "N"	$(\epsilon_s)_t = \left(\frac{t}{20.80 + t} \right) 1.643E-03$	0.926	1,554	1,643
OLLA "A"	$(\epsilon_s)_t = \left(\frac{t}{38.60 + t} \right) 1.804E-03$		1,631	1,804
OLLA "R"	$(\epsilon_s)_t = \left(\frac{t}{26.55 + t} \right) 1.731E-03$		1,614	1,731
MEZCLA 3 (22/SEP/05)				
OLLA "N"	$(\epsilon_s)_t = \left(\frac{t}{16.49 + t} \right) 1.472E-03$	0.821	1,409	1,472
OLLA "A"	$(\epsilon_s)_t = \left(\frac{t}{17.96 + t} \right) 1.652E-03$		1,574	1,652

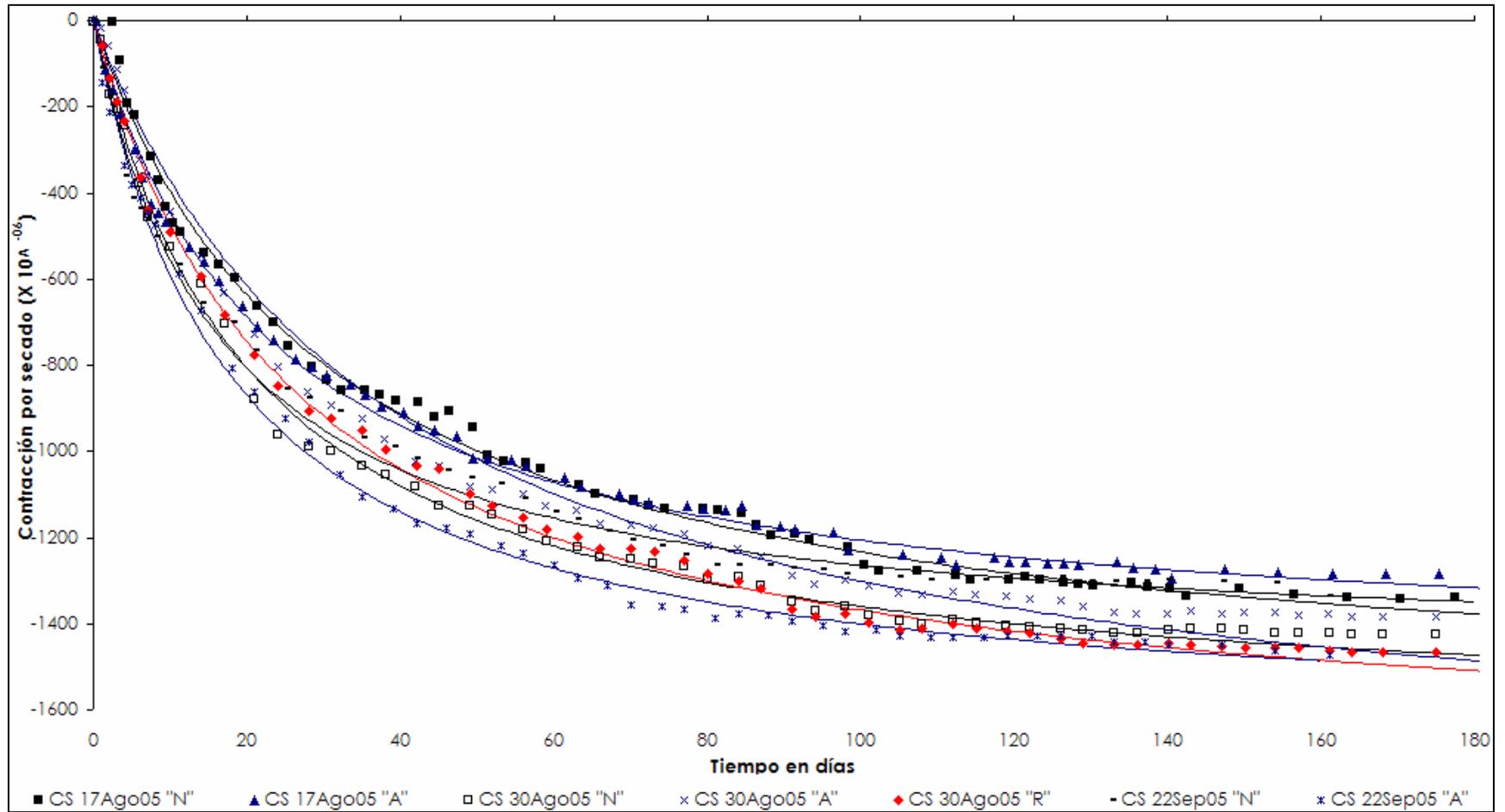


Fig. A7.4 Variación de la contracción por secado con el tiempo de las mezclas 1 a 3 (17 Ago 05, 30 Ago 05 y 22 Sep 05 parciales muestreadas por olla

BIBLIOGRAFÍA

1.1 FUENTES DE INFORMACIÓN CONSULTADAS

- 1.1.1 A.S.T.M., 1966, *Tests and Properties of Concrete*, 1ra. Edición, Ed. ASTM., United States of American, 571 pàg.
- 1.1.2 CEMEX, 2000, *“Guía del usuario de concreto profesional”*, 5ta. Edición, Ed. Cemex, México, 24 Cáp.
- 1.1.3 CFE, 1994, *Manual de Tecnología del Concreto*, Sección I “Definición y Requisitos de los Componentes del Concreto”, 1ra. Edición, Ed. Limusa, México, 258 pág.
- 1.1.4 CFE, 1994, *Manual de Tecnología del Concreto*, Sección II “Concreto Fresco y en Curso de Endurecimiento”, 1ra. Edición, Ed. Limusa, México, 262 pág.
- 1.1.5 CFE, 1994, *Manual de Tecnología del Concreto*, Sección III “Concreto en Estado Endurecido”, 1ra. Edición, Ed. Limusa, México, 382 pág.
- 1.1.6 CFE, 1997, *Manual de Tecnología del Concreto*, Sección IV “Producción y Control del Concreto”, 1ra. Edición, Ed. Limusa, México, 512 pág.
- 1.1.7 CONAFOVI, 2005, *“Código de edificación de vivienda”*, 1ra. Edición, México, 70 pág.
- 1.1.8 CRESPO, VILLALAZ Carlos, 2002, *“Mecánica de suelos y cimentaciones”*, 4ta. Edición, Ed. LIMUSA, México, 639 pág.
- 1.1.9 KOSMATKA, Steven H; KERKHOFF, Beatrix; PANARESE, William C., 2004, *Diseño y “Control de Mezclas de Concreto”*, Primera edición, Ed. PCA, México, 456 pág.

-
- 1.1.10 METHA, Kumar, MONTEIRO Paulo, 1998, "*Concreto, estructura, propiedades y materiales*", 1ra. Edición, Ed. IMCYC, México, 381 pág.
- 1.1.11 MURDOCK, L. J., BROCK, K. M., DEWAR, J. D., 1998, *Concrete Materials and Practice*, 6ta. Edición, Ed. Edward Arnold Inc., Gran Bretaña, 470 pàg.
- 1.1.12 NEWMAN, John, SENG Choo, Ban, 2003, "*Advanced Concrete Technology*", 1ra Edición, Ed. Eisevier Butterworth Heinemann, Gran Bretaña, 254 pàg.
- 1.1.13 NEVILLE, A. M., BROOKS, J. J., 1987, "*Concrete Technology*", 1ra. Edición, Ed. John Wily & Sons Inc., Irlanda del Norte, 438 pàg.
- 1.1.14 P. C. A., 1975, "*Principles of Quality Concrete*", 1ra. Edición, Ed. John Wily & Sons Inc., United States of American, 312 pàg.
- 1.1.15 ROPKE, John C., 1982, "*Concrete Problem, Causes and Cures*", 1ra. Edición, Ed. McGraw Hill, United States of American, 187 pàg.
- 1.1.16 SANCHEZ, DE GUZMÁN Diego, 2003, "*Durabilidad y patología del concreto*", 2ta. Edición, Ed. Asocreto, Colombia, 219 pág.

1.2 NORMAS RELACIONADAS

- 1.2.1 Reglamento de Construcciones del Distrito Federal
- 1.2.2 Reglamento de la Ley de Obras Públicas
- 1.2.3 Normas Técnicas Complementarias (04 Octubre 2004)
- 1.2.4 Committee ACI 212 "*Admixtures for Concrete*"
- 1.2.5 Committee ACI 211.1 "*Standard Practice for Selection Proportions for Normal, Heavy Weight and Mass Concrete*"
- 1.2.6 Committee ACI 214 "*Recommended Practice for Evaluation of Strength Test Results of Concrete*"
- 1.2.7 Committee ACI 304r.00 "*Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete*"
- 1.2.8 Committee ACI 222 "*Corrosion of Metals in Concrete*"
- 1.2.9 ASTM C-94 "*Standard Specification for Ready-Mixed Concrete*"

-
-
- 1.2.10 ASTM C-33 *"Standard Specification for Concrete Aggregates"*
 - 1.2.11 ASTM C-29 *"Standard Test method for unit weight and voids in Aggregates"*
 - 1.2.12 ASTM C-39 *"Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens"*
 - 1.2.13 ASTM C-78 *"Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)"*
 - 1.2.14 ASTM C-1202 *"Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration"*
 - 1.2.15 ASTM C-127 *"Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Agrégate"*
 - 1.2.16 ASTM C-128 *"Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Agrégate"*
 - 1.2.17 ASTM C-469 *"Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression"*

1.3 SITIOS WEB

- 1.3.1 <http://www.cement.org/>
- 1.3.2 <http://www.aci-int.org/general/home.asp>
- 1.3.3 <http://www.astm.org/>
- 1.3.4 <http://www.holcimapasco.com.mx/>
- 1.3.5 <http://www.casasgeo.com/>
- 1.3.6 <http://www.sadasi.com/gruposadasi.htm>
- 1.3.7 <http://www.conafovi.gob.mx>
- 1.3.8 <http://www.infonavit.gob.mx/>

1.4 TESIS RELACIONADAS

- 1.4.1 ALVAREZ REYES, Adrián, *"Concretos de alto desempeño con agregados basálticos"*, UNAM, 2001
- 1.4.2 CONTRERAS RODRÍGUEZ, Patricia del Rocío, *"Concretos de alto desempeño"*, UNAM 2000
- 1.4.3 GUZMÁN RAMIREZ, Mario Xicoténcatl, *"Concreto de alta resistencia con componentes comunes de la ciudad de México"*, UNAM, 1999
- 1.4.4 HERNANDEZ CASTAÑEDA, Oscar, *"Actualización de ecuaciones de flujo plástico para diversos concretos"*, UNAM, 2001