

N.º 133  
at.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

COMPORTAMIENTO DE LA CONTRACCION  
POR SECADO Y DEFOMACION DIFERIDA  
DE DISTINTOS CONCRETOS

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL

PRESENTAN

JORGE ALBERTO ZEPEDA DAVILA

VICTOR LEONARDO SALGADO MARTINEZ

MEXICO D. F.

1992

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# COMPORTAMIENTO DE LA CONTRACCION POR SECADO Y DEFORMACION DIFERIDA DE DISTINTOS CONCRETOS.

## INDICE.

I. INTRODUCCION.	1
I.1    Introducción.	1
I.2    Importancia del Estudio.	4
I.3    Objetivos.	6
I.4    Generalidades.	7
II. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES Y LAS MEZCLAS.	8
II.1    Cementos.	8
II.2    Agregados.	9
II.3    Aditivos Superfluidificantes.	14
II.4    Diseño de las Mezclas.	16
III. PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS.	21
III.1    En estado Fresco.	21
III.2    En estado Endurecido.	26
IV. DESCRIPCION DEL ESTUDIO EXPERIMENTAL.	31
IV.1    Muestreo.	31
IV.2    Pruebas realizadas a los Agregados.	34
IV.3    Pruebas realizadas a los Concretos.	36
V. CONCLUSIONES.	51
V.1    Agregados.	51
V.2    Contracción por Secado.	54
V.3    Deformación Diferida.	65

## AGRADECIMIENTOS.

## REFERENCIAS.

# I INTRODUCCION.

## I.1 Introducci3n.

### I.1.1 Contracci3n por Secado.

La remoci3n del agua del concreto almacenado en aire no saturado es causa de la contracci3n por secado. Parte de dicho proceso es irreversible y se debe distinguir del movimiento reversible de humedad causado por alternar el almacenamiento en condiciones h3medas y secas.

El cambio volum3trico del concreto en proceso de secado no es igual al volumen de agua perdido.

La pérdida de agua libre, que es la primera en ocurrir, causa muy poca o ninguna contracción. Conforme continúa el secado, se pierde el agua adsorbida y el cambio de volumen en la pasta de cemento no restringida en esa etapa es más notorio (ref.1).

Dentro de los factores que afectan la contracción, la influencia más importante la ejercen los agregados, los cuales restringen la cantidad de contracción que puede presentarse realmente. El tamaño y la granulometría del agregado por si mismos no influye en la magnitud de la contracción, pero un agregado más grande permite el uso de mezclas más pobres y origina, por tanto, una contracción menor.

En forma similar, para una resistencia dada, el concreto de baja trabajabilidad contiene más agregado que uno de alta trabajabilidad hecho con agregados del mismo tamaño y, como consecuencia, la primera mezcla presentará una contracción más pequeña (ref.1).

#### I.1.2 Deformación Diferida.

La relación entre esfuerzo y deformación para el concreto es una función del tiempo: el incremento gradual de la deformación unitaria con el tiempo se debe a la deformación diferida.

La deformación diferida puede por tanto definirse como el incremento unitaria bajo esfuerzo sostenido. Debido a que este incremento puede ser varias veces la deformación instantánea bajo carga, la deformación diferida es de considerable importancia en la mecánica estructural (ref.1).

Bajo condiciones normales de carga, la deformación instantánea registrada depende de la velocidad de aplicación de carga e incluye no solamente la deformación elástica sino también algo de deformación diferida.

Es difícil diferenciar con precisión la deformación elástica inmediata de la deformación diferida inicial, pero esto no es de importancia práctica como lo es la deformación total inducida por la aplicación de la carga.

En la definición anterior se ha considerado que la deformación del concreto se presenta cuando se encuentra almacenado bajo condiciones tales que no se origina contracción o expansión del mismo.

Si un espécimen se seca mientras se encuentra cargado, es usual suponer que la deformación diferida y la contracción se suman; por tanto la deformación diferida se calcula como la diferencia entre la deformación total con el tiempo del espécimen cargado y la contracción de un espécimen similar sin carga, almacenados bajo las mismas condiciones a través del mismo lapso.

Ésta es una simplificación conveniente pero la contracción y la deformación diferida no son fenómenos independientes a los cuales se les pueda aplicara el principio de superposición. Sin embargo, en el caso de muchas estructuras reales, la deformación diferida y la contracción se presentan simultáneamente y el tratamiento simultáneo de ambas es conveniente desde un punto de vista práctico.

## I.2 Importancia del Estudio.

La sociedad necesita aprender a usar sus recursos a fin de poder servir eficientemente a la humanidad, tomando en cuenta sus necesidades, la naturaleza de los recursos, sus costos y los ecosistemas de los que forman parte. La investigación sobre los concretos es un factor esencialmente necesario dentro de las investigaciones de la construcción y el empleo de sus materiales, tornándose especialmente importantes al considerar sismos como los que nos sacudieron en 1985, cuyas consecuencias fueron fatales.

El Reglamento de Construcción del Distrito Federal así como las Normas Técnicas Complementarias son claros ejemplos de publicaciones que deben ser actualizadas, de acuerdo con los resultados de dichas investigaciones, con el objeto de mantener la seguridad de los elementos estructurales de las construcciones.

En 1987 se publicó el Nuevo Reglamento de Construcción, así como las Normas Técnicas que lo acompañan. La inclusión de dos clases de concreto en dichas normas es uno de los cambios principales que se han presentado en relación con las normas anteriores de 1977.

El concreto clase II es el fabricado con agregados andesíticos, tradicionalmente encontrados en el Valle de México. El concreto clase I es más denso, más rígido y presenta una contracción y deformación diferida menores que el observado en el concreto clase II, fabricado con agregados calizos que se localizan en zonas aledañas al Valle de México, el concreto clase I se pretende que sea utilizado en estructuras de especial importancia, ya sea por su función o por su tamaño (ref.2).

Una razón que motivó la búsqueda de nuevos agregados fue el hecho de que la calidad de los agregados andesíticos es cada vez de menor calidad, puesto que los bancos de agregados de buena calidad se han ido agotando (ref.2).

No es de extrañar que la calidad de los agregados sea de tal importancia cuando consideramos que por lo menos tres cuartas partes del volumen del concreto están ocupados por estos.

El agregado no solo limita la resistencia del concreto sino que, además sus características afectan tanto a las propiedades físicas como mecánicas del concreto (ref.3).

La contracción por secado en las estructuras está relacionada con el agrietamiento en forma importante. La importancia del agrietamiento y el ancho mínimo al cuál se considera una grieta depende de las condiciones de exposición del concreto. En cuanto al efecto de la deformación diferida en las estructuras, ésta afecta las deformaciones y las deflexiones y, en ocasiones, la distribución de esfuerzos, pero los efectos varían con el tipo de estructura.

La deformación diferida del concreto simple no afecta por sí misma la resistencia, aunque bajo esfuerzos muy altos (85 ó 90 % de la carga estática última aplicada rápidamente) la deformación diferida se aproxima rápidamente a la deformación límite a la cuál se presenta la falla (ref.3).



Como podemos observar la contracción por secado y la deformación diferida, fenómenos complejos que aún no se entienden por completo, tienen un impacto considerable en el desarrollo de las estructuras de concreto; causando un incremento en las deflexiones, así como afectando la distribución de esfuerzos en el mismo. Pero en el análisis de este de estos fenómenos, no solo se presenta el problema de seguridad contra falla, sino también el hecho de que existen factores económicos interrelacionados como son la durabilidad, servicio y mayor vida útil (ref.4).

Éstas son algunas de las razones por lo que se requiere conocer y resolver las incógnitas del comportamiento del concreto provocado por la contracción por secado y la deformación diferida, así como desarrollar métodos adecuados que predigan el comportamiento estructural del concreto y otros elementos estructurales.

### I.3 Objetivos.

El presente estudio pretende llegar a ecuaciones generales que nos permitan predecir, para cualquier edad, la contracción por secado y deformación diferida de los concretos que contienen las estructuras del Valle de México; así como la comparación directa del comportamiento de dichos concretos estudiados.

Con el afán de lograr tales predicciones y tener un mejor entendimiento de las causas que provocan la contracción por secado y la deformación diferida, se busca encontrar y proporcionar gráficas que nos muestren la manera en que afectan las propias características de los concretos (tipo de agregado, peso volumétrico, revenimiento, etc.) en el comportamiento de dichos fenómenos.

#### 1.4 Generalidades.

Para cubrir con la mayoría de las estructuras que se encuentran en la zona estudiada, se eligieron tres tipos generales de concretos:

- Normales (considerados como los hechos en obra).
- Alta Resistencia (que se utilizan en grandes edificios y puentes).
- Bombeados (concretos surtidos por compañías concreteras).

Debido a su disponibilidad, el tipo de agregado grueso utilizado ha variado a lo largo del tiempo; en la actualidad se utilizan la caliza (para concretos clase I) y la andesita (concretos clase II). Con el fin de cubrir los concretos de estructuras erigidas en los años setentas y parte de los ochentas, se decidió incluir concretos elaborados con agregados basálticos.

En el caso de los concretos normales y de alta resistencia, se procesaron y estudiaron espécimenes anteriormente elaborados por el Instituto de Ingeniería. Para el caso de los bombeados, se realizó todo el proceso (obtención, acondicionamiento, lecturas, etc.) utilizando las instalaciones y facilidades que nos brindó el mismo Instituto.

## II CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES Y LAS MEZCLAS.

### II.1 Cementos.

#### II.1.1 Concretos Normales.

Para el caso de los concretos normales, se empleó cemento Portland Tipo 1. Esto con la intención de de obtener el mismo tipo de concretos que se utilizan en la mayor parte de las estructuras de concreto construidas en México.

#### II.1.2 Concretos de Alta Resistencia.

En este caso se utilizó cemento Portland tipo II Puzolánico. A base de experimentación se ha demostrado que con este tipo de cementos se obtiene concretos de resistencias superiores (ref.5).

### II.1.3 Concretos Bombeados.

Todos los concretos premezclados que se muestrearon, se diseñaron con cementos Portland tipo I.

## II.2 Agregados.

### II.2.1 Concretos Normales.

Para su fabricación se utilizaron gravas y arenas comunes en el Distrito Federal. Las propiedades físicas de estos agregados se presentan en la tabla II.2.1.

Dentro de las gravas estudiadas, la andesítica es la que más se emplea, representando aproximadamente el 70 % de la producción de concreto. Le sigue la basáltica vesicular, aunque su empleo en el Distrito Federal se ha reducido dramáticamente.

La característica básica que las diferencia es su peso específico, siendo más densas las andesíticas y más ligeras las basálticas.

Se estudiaron tres tipos de arenas, todas de origen andesítico. Dos de ellas conocidas como azules, provenientes de bancos distintos, cuya diferencia básica estriba en el contenido de polvos (los extraídos del banco de Sta. Fe contienen gran cantidad de polvos, en cambio las del Edo. de México presentaron pocos polvos). La otra arena es de color rosa, la cuál se empleó con o sin lavado, esto con el fin de estudiar la influencia de la cantidad de polvos.

**TABLA 11.2.1 CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETOS NORMALES.**

CARACTERISTICAS	AGREGADO GRUESO T.N.A= 20 mm		A G R E G A D O P I N O			
	ANDESITICA	BASALTICA VESICULAR	ANDESITA AZUL RDO. DE MXI	ANDESITA AZUL STA. FE	ANDESITA ROSA LAVADA	ANDESITA ROSA SIN LAVAR
Granulometría	aceptable	exceso particu- las pequeñas	gruesa	gruesa con exceso polvo	aceptable	aceptable
Mod. de Finura	6.63	7.24	3.30	3.00	3.00	2.9
Peso Volumétrico Suelto [Kg/m <sup>3</sup> ]	1250	9.28	1375	1387	1317	1266
Peso Volumétrico Compacto [Kg/m <sup>3</sup> ]	1450	1068	1486	1614	1365	1376
Densidad	2.38	1.98	2.34	2.35	2.35	2.25
Absorción %	5.20	6.20	7.00	6.50	6.50	8.60
Material que para Malla No. 200 %	5.90	----	6.60	17.70	8.60	16.20
Impurezas	----	----	----	----	----	----

La selección de los agregados para lograr concretos de alta resistencia es de suma importancia.

La granulometría óptima del agregado fino para este tipo de concretos está determinada más por su efecto en el requerimiento de agua que por su arreglo físico. Las arenas con un módulo de finura cercano a tres nos proporciona buenos resultados de trabajabilidad y resistencia.

El agregado grueso ideal debe ser limpio, cúbico, anguloso, 100 % agregado triturado con un mínimo de partículas planas y alargadas (ref.5).

Es cierto que para lograr concretos de alta resistencia se requiere de agregados de alta resistencia. Sin embargo, varias investigaciones han mostrado que, para algunos agregados, se alcanza un punto más allá del cuál incrementos adicionales en el contenido de cemento, no produce incrementos en la resistencia a compresión del concreto. Esto aparentemente se debe a que se ha alcanzado el límite de la adherencia potencial de la combinación agregado-cemento (ref.5).

Con base a un estudio realizado por el Instituto de Ingeniería para la Comisión de Vialidad y Transporte Urbano sobre "Influencia de los Agregados en los Concretos Estructurales del Distrito Federal", se determinó utilizar en la elaboración de estos concretos grava de origen calizo y arena de origen andesítico (disponibles localmente).

En la tabla II.2.2 se presenta las principales características físicas de los agregados fino y grueso utilizados en este tipo de concretos.

TABLA II.2.2 CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA.

CARACTERISTICAS	AGREGADO FINO ARENA ANDESITICA	AGREGADO GRUESO GRAVA CALIZA T.M.A= 20 mm
Granulometría	acceptable	acceptable
Modulo de Finura	3.02	6.56
Peso Volumétrico Suelto [Kg/m <sup>3</sup> ]	1478	1481
Peso Volumétrico Compacto [Kg/m <sup>3</sup> ]	1606	1580
Densidad	2.46	2.65
Absorción %	3.47	0.92
Material que pasa Malla No. 200 %	1.12	----
Impurezas Orgánicas	----	----

### II.2.3 Concretos Bombeados.

Se tuvo la oportunidad de muestrear a diferentes compañías concreteras; como es lógico pensar, cada compañía obtiene sus agregados de bancos de material diferentes. Aunque debido a la escasa cantidad de bancos sanos que quedan alrededor del Distrito Federal, se observó que el tipo de agregados empleados por las diferentes compañías concreteras no varían considerablemente.

Con algunas variaciones en su color, fueron empleadas arenas de origen andesítico como agregado fino en todos los casos que fueron muestrados. Cabe señalar que la mayoría de las arenas estudiadas presentaron una granulometría gruesa y exceso de polvos.

Para el caso de agregado grueso, se obtuvieron principalmente gravas de origen andesítico y de origen calizo.

Es importante mencionar que fue común encontrar en las muestras contaminación con material ligero o con otro tipo de gravas (concretos con gravas andesíticas, se le encontraron gravas de origen calizo). El principal problema que esto nos acarrea, es la dificultad para clasificar y estudiar los concretos como lo señala el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (referido en la introducción de este estudio); ya que un concreto que combina agregados andesíticos y calizos no es del Tipo I ni del Tipo II.

En la tabla II.2.3 se proporcionan las principales características físicas de los agregados fino y grueso.



TABLA 11.2.3 CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS DE CONCRETOS DORRADOS.

CARACTERISTICAS	AGREGADO GRUBSO					AGREGADO FINO			
	CALIZA GRIS CARSA	CALIZA BLANCA BALSA	ANDESITA GRIS CARSA	ANDESITA GRIS PRECONCR	ANDESITA GRIS BALSA	ANDESITA ROSA CARSA	ANDESITA GRIS CARSA	ANDESITA GRIS PRECONCR	ANDESITA GRIS BALSA
	T. M. A. = 20 mm.								
Granulometría	aceptable	aceptable	gruesa	aceptable	aceptable	gruesa exceso polvos	gruesa exceso polvos	gruesa	exceso partic. peg.
Mod. de Finura	7.57	6.97	7.0	6.94	6.89	2.6	2.69	2.77	2.80
Peso Volumétrico Suelto [Kg/m <sup>3</sup> ]	1469	1422	1293	1303	1305	1424	1486	1377	1412
Peso Volumétrico Compacto [Kg/m <sup>3</sup> ]	1592	1570	1401	1377	1425	1539	1639	1501	1556
Peso Específico	2.69	2.67	2.41	2.41	2.39	2.38	2.49	2.40	2.40
Absorción %	0.99	0.94	1.20	1.40	1.50	3.90	2.55	2.39	4.60
Material que pasa Malla No. 200 %	3.50	3.00	1.30	5.70	11.00	17.00	14.40	18.00	11.60
Impurezas	---	---	---	---	---	---	---	---	---

### 11.3 Aditivos Superfluidificantes.

Los términos *superfluidificante*, *superplastificante*, *super reductor de agua* y *reductor de agua de alto rango* como también son conocidos, son aplicados a un grupo de agentes polímeros dispersantes solubles en agua. Éstos son una categoría relativamente nueva de aditivo químicos. Sin embargo, se han realizado muchas investigaciones respecto al comportamiento de estos aditivos en las mezclas de concreto (ref.5).

De acuerdo con la norma ASTM C494 los aditivos empleados pertenecen a las categorías F y G.

Hay tres formas en que los superfluidificantes pueden ser usados en el concreto (ref.5):

- a) Para producir concreto con una relación agua/cemento baja (concretos de alta resistencia).
- b) Para producir concreto con reducción del contenido de cemento.
- c) Para producir concreto fluido (concretos bombeables).

Resulta muy importante mencionar que la mejora en las propiedades mecánicas, tales como resistencia a compresión, tensión, flexión y módulo de elasticidad, así como la contracción por secado y la deformación diferida; está asociada directamente con la reducción en la relación agua/cemento lograda al usar los superfluidificantes y no por la aplicación directa de los mismos.

Los concretos con superfluidificantes presentan notable incremento en el revenimiento. Sin embargo, este incremento es de corta duración y, en un lapso de 30 a 60 minutos, el concreto vuelve a su resistencia original.

Diversos informes muestran que la adición de este tipo de aditivos no afecta contrariamente al tiempo de fraguado del concreto, medido mediante la prueba de resistencia a la penetración (ref.5). En adición a esto, el Ing. Neville dice: "Tratándose de agentes fluidificantes que permiten reducir el contenido de agua de la mezcla, el efecto resultante ejercido sobre la contracción es insignificante" (ref.1).

En el presente estudio, los concretos de alta resistencia y los bombeados incluyeron en sus mezclas este tipo de aditivos superfluidificantes. El tipo de aditivo y su proporción se presentan en las tablas II.4.2 y II.4.3 respectivamente.

#### II.4 Diseño de las Mezclas.

##### II.4.1 Concretos Normales.

Con los materiales anteriormente descritos se hicieron cuatro combinaciones de gravas y arenas, con las cuales se fabricaron quince proporcionamientos para resistencias nominales de 200, 300 y 400 Kg/cm<sup>2</sup> (ref.5 y 6). En todos los casos se usó un factor de sobrediseño de 50 Kg/cm<sup>2</sup>.

En la tabla II.4.1 se presentan las cantidades de los materiales empleados en cada mezcla. Se incluyen también las relaciones agua/cemento y arena/grava empleadas en cada caso.

TABLA II.4.1 DISEÑO DE LAS MEZCLAS PARA CONCRETOS NORMALES.

REFERENCIA	CONCRETO CLASE	TIPO GRAVA	TIPO ARENA	PROPORCIONES [Kg/m <sup>3</sup> ]				A/C	ARENA AGREGADOS
				CEM	AGUA	GRAVA	ARENA		
770502	II	Andesítica	Andesítica azul (E.M.)	295	207	826	842	0.70	0.50
770504	II	Andesítica azul	(E.M.)	371	204	815	780	0.55	0.49
770509	II	Andesítica azul	(E.M.)	431	186	805	755	0.43	0.48
770602	II	Andesítica azul	(E.M.)	379	208	769	804	0.55	0.51
770514	II	Andesítica	Andesítica azul (Sta. Fe)	321	253	869	697	0.79	0.44
770516	II	Andesítica	Andesítica azul (Sta. Fe)	416	229	874	620	0.55	0.41
770520	II	Andesítica	Andesítica azul (Sta. Fe)	425	200	891	636	0.47	0.42
770522	II	Andesítica	Andesítica azul (Sta. Fe)	485	187	844	598	0.38	0.41
770607	II	Basalto Vesicular	Andesítica rosa sin lavar	316	221	706	777	0.70	0.52
770609	II	Basalto Vesicular	Andesítica rosa sin lavar	483	208	719	720	0.43	0.50
770718	II	Basalto Vesicular	Andesítica rosa sin lavar	330	244	670	775	0.74	0.54
770614	II	Basalto Vesicular	Andesítica rosa lavada	315	220	705	830	0.70	0.54
770726	II	Basalto Vesicular	Andesítica rosa lavada	377	207	652	834	0.55	0.56
770719	II	Basalto Vesicular	Andesítica rosa lavada	390	214	686	750	0.55	0.52
770721	II	Basalto Vesicular	Andesítica rosa lavada	455	196	679	730	0.43	0.52

#### 11.4.2 Concretos de Alta Resistencia.

Utilizando los materiales anteriormente descritos y con base a las tablas "Standard Practice for Selecting Proportions for No-Slump Concrete" (ACI 211.3-75 Revised 1987)", se elaboraron cinco mezclas de concreto con aditivo superfluidificante y una mezcla de concreto sin aditivo como referencia.

El superfluidificante utilizado fue del tipo "Sikament", el cuál es un reductor de agua de alto rango (ASTM C 494 Tipo F), autonivelante y acelerante. Tiene 30 % de sólidos y una densidad de 1.165 g/cm. Su dosificación fue de 2.5 % del aditivo en peso sobre el peso del cemento.

En la tabla II.4.2 se proporciona las cantidades de los materiales empleados para cada mezcla. Se incluyen también las relaciones agua/cemento y arena/grava empleadas en cada caso.

TABLA II.4.2 DISEÑO DE LAS MEZCLAS PARA CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA.

REFERENCIA	CONCRETO CLASE	TIPO GRAVA	TIPO ARENA	PROPORCIONES				ADITIVO [l/m <sup>3</sup> ]	A/C	ARENA AGREG.
				CEM	AGUA	GRAVA	[Kg/m <sup>3</sup> ] ARENA			
910115	I	Caliza	Andesítica	428	175	896	806	----	0.41	0.48
901106	I	Caliza	Andesítica	300	117	1009	940	6.50	0.39	0.48
901108	I	Caliza	Andesítica	350	119	984	917	7.50	0.34	0.48
901029	I	Caliza	Andesítica	400	126	953	888	8.60	0.31	0.48
901031	I	Caliza	Andesítica	500	134	897	836	10.80	0.27	0.48
901114	I	Caliza	Andesítica	550	150	854	796	11.85	0.27	0.48

### II.4.3 Concretos Bombeados.

Con los materiales anteriormente descritos se obtuvieron 12 muestras de concreto bombeado. Para este caso, las mezclas variaron en función de la compañía concretera, pero en todos los casos las resistencias de diseño fue de 250 Kg/cm<sup>2</sup>.

Los aditivos empleados fueron generalmente superfluidizantes del tipo Sikament; cuyo efecto, como ya se mencionó anteriormente, es únicamente temporal sin afectar las características a largo plazo.

En la tabla II.4.3 se presentan las cantidades de los materiales empleados, proporcionamientos y cantidad de aditivo, así como las relaciones agua/cemento y arena/grava empleadas en cada mezcla.

TABLA 11.4.3 DISEÑO DE LAS MEZCLAS PARA CONCRETOS DOMINADOS.

REFERENCIA	CONCRETO CLASE	TIPO GRAVA	TIPO ARENA	PROPORCIONES [Kg/m <sup>3</sup> ]				ADITIVO [l/m <sup>3</sup> ]	A/C	ARENA AGR.
				CEM	AGUA	GRAVA	ARENA			
911024	II	Andesítica Gris Balsa	Andesítica Gris Balsa	301	201	798	697	---	0.67	0.47
911107	II	Andesítica Gris Balsa	Andesítica Gris Balsa	301	201	798	697	---	0.67	0.47
920122	II	Andesítica Gris Carsa	Andesítica Gris Carsa	360	201	882	830	---	0.56	0.48
920213	II	Andesítica Gris Carsa	Andesítica Gris Carsa	360	201	882	830	---	0.56	0.48
920217	II	Andesítica Gris Preconc	Andesítica Gris Preconc	390	210	840	800	8.5	0.54	0.49
920224	II	Andesítica Gris Preconc	Andesítica Gris Preconc	390	210	840	800	8.0	0.54	0.49
920129	I	Caliza Blanca Balsa	Andesítica Gris Balsa	301	201	798	697	8.4	0.67	0.47
920302	I	Caliza Gris Carsa	Andesítica Gris Carsa	345	205	818	927	9.0	0.59	0.53
920316	I	Caliza Gris Carsa	Andesítica Rosa Carsa	345	205	818	927	6.5	0.59	0.53
920423	I	Caliza Gris Carsa	Andesítica Rosa Carsa	345	205	818	927	9.0	0.59	0.53

### III PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS.

#### III.1 En estado fresco.

En cada una de las muestras de los tres tipos de concreto estudiados se realizó:

- Prueba del Revenimiento.
- Determinación del Peso Volumétrico.

La prueba del revenimiento es el ensaye que se realiza con más frecuencia en mezclas de concreto simple, ya que éste se puede considerar como índice de la uniformidad de la relación agua/cemento para una relación grava/arena determinada.



La prueba del revenimiento también permite estimar la cohesión que presenta una mezcla de concreto simple; se dice que una mezcla carece de cohesión cuando en lugar de revenirse en forma redonda y uniforme, el concreto se desliza en un plano inclinado.

La selección del agregado grueso juega un papel muy importante en el peso volumétrico de una mezcla de concreto; así, los materiales calizos, al tener una mayor densidad que los andesíticos y basálticos, nos producen mezclas con un peso volumétrico superior.

El peso volumétrico también tiene variaciones con el empleo de aditivos. En promedio existe una relación de 1.025 entre los pesos volumétricos de las mezclas de concreto con aditivo superfluidificante y las mezclas sin aditivo. Esto quiere decir que el aditivo superfluidificante contribuye a incrementar el peso volumétrico de las mezclas de concreto, al sustituir parte del agua de mezclado por otros materiales más densos.

### III.1.1 Concretos Normales.

En las mezclas con resistencias nominales de 200 y 300 Kg/cm<sup>2</sup> se buscó un revenimiento de 10 cm y para las de 400 Kg/cm<sup>2</sup>, de 5 cm.

Dos de las mezclas de 300 Kg/cm<sup>2</sup> tuvieron revenimiento teórico de 12 cm, esto para cubrir los casos de concretos con características adecuadas para ser transportadas por medio de bombas, aunque en el medio suele ser mayor.

En la tabla III.1.1 se proporcionan los valores obtenidos de revenimiento y peso volumétrico de este tipo de concretos.

TABLA III.1.1 PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS NORMALES EN ESTADO FRESCO.

REFERENCIA	PESO VOLUMETRICO [Kg/m <sup>3</sup> ]	REVENIMIENTO [cm]
770502	2058	7.0
770504	2058	9.5
770509	2058	2.5
770602	2058	12.2
770514	2026	9.5
770516	2026	10.2
770502	2026	5.0
770522	2026	4.5
770607	1896	6.0
770609	1896	3.5
770718	1896	12.0
770614	1966	8.5
770726	1977	13.5
770719	1966	11.0
770721	1966	7.5

### III.1.2 Concretos de Alta Resistencia.

En este tipo de concretos las mezclas antes de la incorporación del aditivo presentaron una consistencia rígida. La inclusión del superfluidificante permitió mejorar la trabajabilidad, obteniéndose mayores pesos volumétricos como se indica en la introducción de este capítulo.

En la tabla III.1.2 se presentan los valores obtenidos en estado fresco de este tipo de concretos.

TABLA III.1.2 PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA EN ESTADO FRESCO.

REFERENCIA	PESO VOLUMETRICO [Kg/m <sup>3</sup> ]	REVENIMIENTO [cm]
910115	2299	5.0
901106	2352	0.5
901108	2365	0.5
901029	2361	0.0
901031	2374	0.0
901114	2377	6.0

### III.1.3 Concretos Bombeados.

Como es de esperarse el revenimiento y el peso volumétrico obtenidos al muestrear este tipo de concretos varían considerablemente, dependiendo de la compañía concretera y de las condiciones específicas de la obra en que se obtienen los especímenes.

Resulta importante mencionar que en repetidas ocasiones el revenimiento pedido a la concretera varió notablemente con el revenimiento real obtenido en obra (superando en algunas ocasiones el +2.5 cm que se permite como margen). Por lo que las compañías concreteras deben de aumentar su control de calidad tanto en las plantas dosificadoras como en el manejo que los operadores de la olla dan al concreto.

En la tabla III.1.3 se encuentran los valores obtenidos de peso volumétrico y revenimiento; para esta última prueba se presentan los valores de revenimiento pedido y su valor real muestreado en la obra.

REFERENCIA	PESO VOLUMETRICO [Kg/m <sup>3</sup> ]	REVENIMIENTO PEDIDO [cm]	REAL.
911024	2249	12	10.5
911107	2225	12	14.0
920122	2164	14	20.0
920213	2231	14	18.0
920217	2203	12	16.0
920224	2159	14	10.0
920129	2279	14	16.0
920302	2274	12	20.0
920316	2261	12	9.3
920423	2264	12	20.0

### III.2 En Estado Endurecido.

Todos los especímenes elaborados con las diferentes mezclas de los concretos estudiados, se ensayaron para determinar las siguientes propiedades:

- Peso volumétrico.
- Resistencia a Compresión.
- Módulo de Elasticidad.
- Contracción por Secado.
- Deformación Diferida.

El peso volumétrico tiene una variación en promedio del 2 % de incremento del peso volumétrico en estado endurecido respecto del fresco, debido principalmente a la reducción de volumen que origina la contracción.

La resistencia a compresión y el módulo elástico, son de las propiedades del concreto simple más importantes. De hecho, la mayor parte de las conclusiones y comparaciones de la contracción por secado y deformación diferida de este trabajo toma como referencia a la resistencia a compresión.

Los resultados de contracción por secado y deformación diferida que en este capítulo se proporcionan son ampliamente discutidos y comparados en el correspondiente capítulo de conclusiones.

### III.2.1 Concretos Normales.

Según la tendencia observada en la propiedades de los concretos normales que presenta la tabla III.2.1, se distinguen dos comportamientos que varían de acuerdo con el tipo de agregado grueso empleado en la fabricación de la mezcla.

Los concretos fabricados con grava basáltica vesicular y arena andesítica rosa presentaron los incrementos más grandes respecto a la resistencia a los 28 días y el módulo de elasticidad.

Cabe mencionar que dentro de cada grupo de materiales, se emplearon arenas con diferentes contenidos de polvos, siendo mayores los incrementos de resistencia en aquellos concretos con menores cantidades de polvo.

TABLA III.2.1 PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS NORMALES EN ESTADO ENDURECIDO.

REFERENCIA	PESO VOLUMETRICO [Kg/m <sup>3</sup> ]	RESISTENCIA A DISERÑO [Kg/cm <sup>2</sup> ]	COMPRESION REAL	MOD. ELASTICIDAD 10 <sup>3</sup> [Kg/cm <sup>2</sup> ]	CONTRACC. SECADO			DEF. DIFERIDA		
					a	b	Bu. 10 <sup>4</sup>	a	b	Ku. 10 <sup>4</sup>
770502	2100	200	306	135	0.60	7.9	13.2	----	----	----
770504	2100	300	349	161	0.63	7.2	12.7	0.52	8.9	2.3
770509	2100	400	407	168	0.66	9.9	11.9	----	----	----
770602	2100	300	348	165	0.74	12.1	12.7	0.58	12.6	2.6
770514	2062	200	260	144	0.75	8.1	9.9	----	----	----
770516	2062	300	343	158	0.87	13.0	10.7	0.61	10.0	4.4
770520	2062	300	354	151	0.94	11.9	11.2	0.59	10.8	3.6
770522	2062	400	424	160	0.84	11.0	11.2	----	----	----
770607	1930	200	262	179	0.72	11.5	13.1	----	----	----
770609	1930	400	452	205	0.66	9.9	9.7	----	----	----
770718	1930	300	275	185	0.85	30.9	15.2	0.80	46.3	5.9
770614	2000	200	248	189	0.69	14.6	9.4	----	----	----
770726	2010	300	356	213	0.78	33.3	12.9	0.59	13.4	3.7
770719	2000	300	346	210	0.76	17.5	6.9	0.72	27.9	2.8
770721	2000	400	435	237	0.77	26.2	7.8	----	----	----

### III.2.2 Concretos de Alta Resistencia.

La resistencia a compresión obtenida a los 28 días fue del orden de 590 Kg/cm<sup>2</sup> en promedio; el módulo de elasticidad fluctuó entre los 350 Kg/cm<sup>2</sup> (valor que resulta apreciablemente elevado).

Resulta importante mencionar que la resistencia a compresión obtenida a los 28 días no cumplió con la resistencia de diseño de las mezclas. En promedio alcanzaron una resistencia a compresión del 88 % de la de diseño. Complementariamente se puede decir que se llegó a la resistencia de diseño con la prueba a compresión a los 90 días.

En la tabla III.2.2 se proporcionan las mencionadas propiedades de los concretos, incluyendo las resistencias a compresión de diseño de las mezclas.

TABLA III.2.2 PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA EN ESTADO ENDURECIDO.

REFERENCIA	PESO VOLUMETRICO [Kg/m <sup>3</sup> ]	RESISTENCIA A DISEÑO [Kg/cm <sup>2</sup> ]	COMPRESION RRAL	MOD. ELASTICIDAD 10 <sup>-3</sup> [Kg/cm <sup>2</sup> ]	CONTRACC.*SECCADO			DEF. DIFERIDA		
					a	b	ε <sub>u</sub> 10 <sup>-4</sup>	a	b	ε <sub>u</sub> 10 <sup>-4</sup>
901115	2362	475	460	280	1.19	36.5	5.8	0.75	16.0	12.4
901106	2393	475	376	419	0.84	14.4	4.3	----	----	----
901108	2414	625	546	317	0.84	19.5	5.3	0.69	15.2	6.2
901029	2385	725	598	358	0.77	13.9	4.6	----	----	----
901031	2398	850	737	398	0.81	18.6	3.8	0.66	14.8	5.4
901114	2413	850	777	359	0.96	38.3	5.2	----	----	----



### III.2.3 Concretos Bombeados.

Quando hablamos de este tipo de concretos y como se puede observar en la tabla III.2.3, resulta satisfactorio recalcar que las resistencias a compresión exceden en un 25 % en promedio a la resistencia de diseño (pedida).

De la misma manera, los módulos de elasticidad encontrados son considerablemente elevados. Esto resulta especialmente importante debido a la dificultad que tiene la predicción de las propiedades en estado endurecido de los concretos bombeados; ésto por la gran cantidad de variables que se manejan (compañía concretera, condiciones de la obra, manejo del operador de la olla, etc).

TABLA III.2.3 PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS BOMBEOADOS EN ESTADO ENDURECIDO.

REFERENCIA	PESO VOLUMETRICO [kg/m <sup>3</sup> ]	RESISTENCIA A DISEÑO [kg/cm <sup>2</sup> ]	COMPRESION RRAL	MOD. ELASTICIDAD 10 <sup>3</sup> [kg/cm <sup>2</sup> ]	CONTRACC.#SECCAO			DEF. DIFERIDA		
					a	b	ky 10 <sup>4</sup>	a	b	ky 10 <sup>4</sup>
911024	2282	250	295	236	0.95	10.2	8.9	----	----	----
911107	2259	250	349	195	0.92	8.3	9.8	----	----	----
920122	2120	250	275	140	1.2	19.1	12.4	----	----	----
920213	2282	250	285	138	1.1	12.3	9.9	0.73	11.9	39.1
920217	2207	250	337	145	1.3	33.9	10.1	----	----	----
920224	2185	250	294	136	1.5	26.7	11.2	----	----	----
920129	2326	250	386	244	1.2	18.1	6.9	0.70	4.8	27.5
920302	2278	250	304	240	0.6	3.4	6.7	----	----	----
920316	2251	250	265	223	1.0	7.7	8.5	----	----	----
920423	2278	250	263	259	1.2	12.6	6.4	0.80	7.6	31.9

## IV DESCRIPCION DEL ESTUDIO EXPERIMENTAL.

Para la realización de este estudio, se siguieron métodos para la elaboración, muestreo, control, almacenamiento y prueba de especímenes de los concretos antes mencionados (normales, alta resistencia y bombeados); conforme a las normas del American Society for Testing and Materials [A.S.T.M.], (ref.6).

### IV.1 Muestreo.

#### IV.1.1 Muestreo de los Agregados.

Para agregados finos y gruesos se realizó un muestreo dentro de las instalaciones de las concreteras de las cuales se obtuvieron los especímenes de concreto, excepto en el caso de los concretos normales y de alta resistencia, que fueron muestreados dentro de las instalaciones del Instituto de Ingeniería conforme a especificaciones establecidas previamente.

De acuerdo a las normas del A.S.T.M. se cuarteó el material para obtener una muestra representativa, tanto de grava como de arena (C-33).

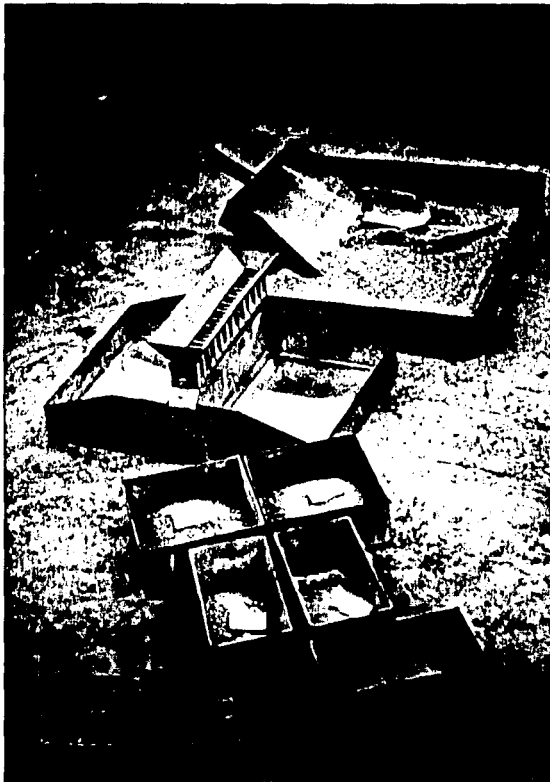


FIGURA IV.1.1.1 MUESTREO DE LOS AGREGADOS (Cuarteo del agregado fino).

#### IV.1.2 Muestreo del Concreto.

##### IV.1.2.1 Muestreo del Concreto Normal.

Manteniendo el control tanto de la temperatura, tiempo de muestreo y humedad del lugar, se obtuvo una muestra representativa de concreto para las diferentes pruebas a realizarle (C-192 y C-172). Este muestreo fue realizado en el Instituto de Ingeniería.

##### IV.1.2.2 Muestreo de Concreto de Alta Resistencia.

En el caso del concreto de alta resistencia la mezcla se produjo en las instalaciones del Instituto de Ingeniería conforme a las normas de mezcla en laboratorio (C-192), y se obtuvo una muestra del mismo modo que el concreto normal (C-172).

##### IV.1.2.3 Muestreo de Concreto Bombeado.

Una vez muestreados los agregados en las concreteiras, seguimos a las ollas hasta el lugar en el cuál se colocó el concreto.

Utilizando la misma norma del A.S.T.M. se obtuvo la muestra de concreto deseada y se tuvo el cuidado de tener un control que indicara el tipo de aditivo, las características de la orden de entrega y la longitud de tubería que dicho concreto tuvo que recorrer.

## IV.2 Pruebas realizadas a los Agregados.

El material muestreado (grava y arena), se cuartecó en el laboratorio y se obtuvieron las cantidades requeridas para realizar cada una de las pruebas que a continuación se describen.

### IV.2.1 Agregado Fino.

Para el caso de la arena se realizaron pruebas de laboratorio de: granulometría (C-33), módulo de finura (C-33), densidad (C-128) y absorción (E-177); así como pérdida por lavado (C-117) y peso volumétrico (C-29), para poder determinar las características físicas de la arena.

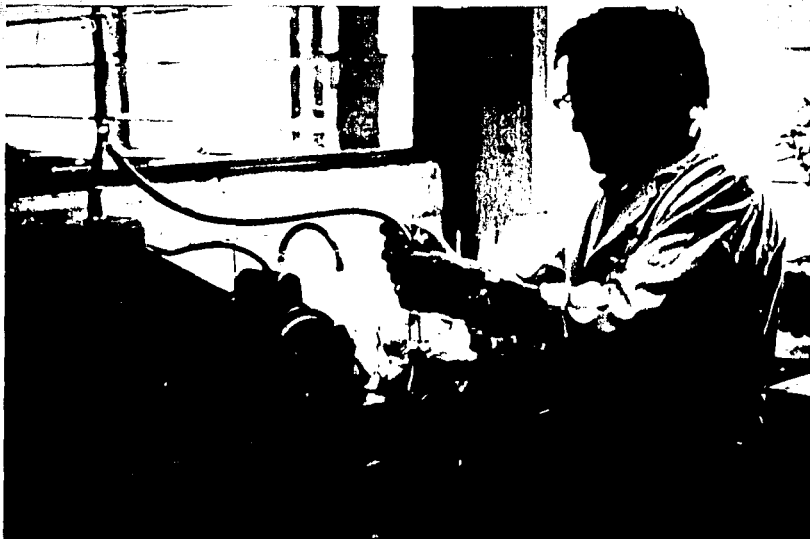


FIGURA IV.2.1.1 PRUEBAS REALIZADAS AL AGREGADO FINO (Densidad y Absorción).

#### IV.2.2 Agregado Grueso.

A la grava se le realizaron las pruebas de laboratorio que a continuación se mencionan: granulometría (C-127), densidad (E-177) y absorción (C-127) y, peso volumétrico (C-29).

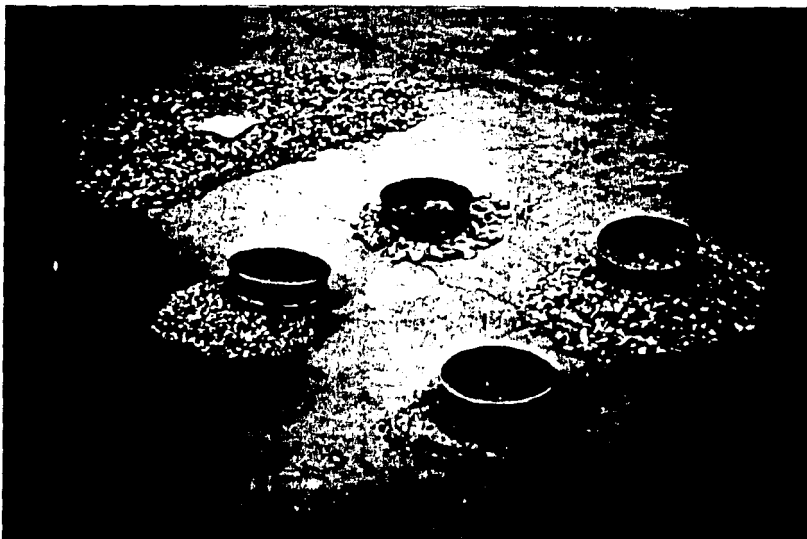


FIGURA IV.2.2.1 PRUEBAS REALIZADAS AL AGREGADO GRUESO (Granulometría).

Los resultados de las pruebas antes mencionadas realizadas al agregado fino y grueso se encuentran en las tablas II.2.1 (concreto normal), II.2.2 (concreto de alta resistencia) y II.2.3 (concreto bombeado).

### IV.3 Pruebas realizadas a los Concretos.

#### IV.3.1 Revenimiento del Concreto.

Una vez muestreado el concreto se realizó la prueba de revenimiento de los tres tipos de concretos con que se trabajó (C-143).

##### IV.3.1.1 Revenimiento de Concreto Normal.

Como se menciona en el Capítulo II, en el caso de estos concretos se trató de mantener un rango del revenimiento obtenido, el cuál varió teóricamente entre 10 cm en concretos cuya resistencia estaba entre 200 y 300 Kg/cm<sup>2</sup>, y 5 cm en concretos cuya resistencia estaba en 400 Kg/cm<sup>2</sup>.

##### IV.3.1.2 Revenimiento de Concreto de Alta Resistencia.

Debido a las bajas relaciones agua-cemento que requieren estos concretos, se utilizó un aditivo superfluidizante para darle trabajabilidad a la mezcla. De cualquier forma los revenimientos obtenidos fueron bajos (de 0 a 5 cm).

##### IV.3.1.3 Revenimiento de Concreto Bombeado.

El revenimiento de estos concretos fue variable, el cuál estuvo determinado por las características particulares de las obras muestreadas (compañía concretera, longitud de línea de bombeo, uso de superfluidizantes, etc.).

En las tablas III.1.1 (concreto normal), III.1.2 (concreto de alta resistencia) y III.1.3 se presentan los resultados obtenidos de esta prueba.

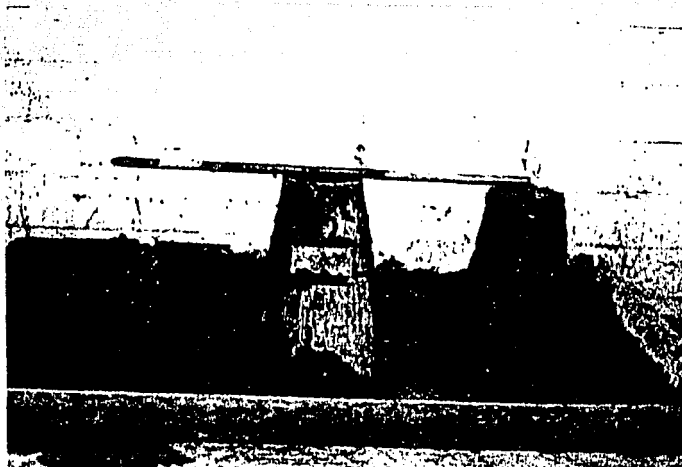


FIGURA IV.3.1.1 REVENIMIENTO DEL CONCRETO.



#### IV.3.2 Peso Volumétrico en estado fresco y endurecido.

Simultáneamente a la prueba de revenimiento se obtuvo el peso volumétrico del concreto en estado fresco (C-138).

El peso volumétrico en estado endurecido se obtuvo al dividir el volumen del cilindro de concreto entre su peso en estado endurecido.

Los resultados de estas prueba se encuentran en las tablas III.1.1 y III.2.1 (concreto normal), III.1.2 y III.2.2 (concreto de alta resistencia) y, III.1.3 y III.2.3 (concreto bombeado) para estado fresco y endurecido respectivamente.

#### IV.3.3 Preparación de especímenes.

Una vez que se hizo la prueba de revenimiento y se obtuvo el peso volumétrico en estado fresco, se fabricaron diferentes especímenes para las distintas pruebas: 3 cilindros para prueba de compresión (C-39), 3 cilindros para módulo de elasticidad (C-469), 4 prismas para contracción por secado (C-157) y 7 cilindros para deformación diferida (C-512).

Para el caso de concretos de alta resistencia, los especímenes cilíndricos utilizados para las pruebas de compresión, módulo de elasticidad y deformación diferida fueron de 10 x 20 cm.

Los especímenes fabricados en el lugar donde se encontraba la obra se hicieron conforme las especificaciones para cada una de las pruebas mencionadas anteriormente, como se puede observar en la figura IV.3.3.1.



FIGURA IV.3.3.1. PREPARACION DE ESPECIMENES.

#### IV.3.4 Curado de los Especímenes de Concreto.

Tanto los especímenes fabricados en el laboratorio como los obtenidos en sitio, se colocaron en un lugar donde se pudiera llevar a cabo el curado inicial, donde no se presentarían cambios bruscos de temperatura ni de humedad y se les colocó una envoltura plástica para evitar que hubiera pérdida de humedad por la reacción del cemento con el agua.

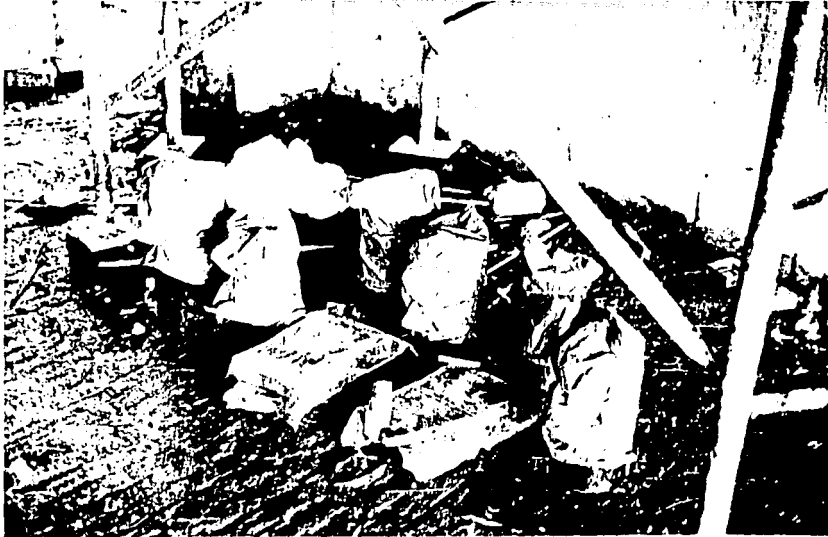


FIGURA IV.3.4.1 CURADO DE LOS ESPECIMENES DE CONCRETO (Inicial).

Así permanecieron 24 h y se llevaron al laboratorio del Instituto de Ingeniería donde se realizó el curado final, clasificándolos (longitud, diámetro, área, peso, número de identificación, etc.), y colocándolos en una cámara húmeda para mantener la temperatura y humedad (C-192).



FIGURA IV.3.4.2 CURADO DE LOS ESPECÍMENES DE CONCRETO (Final).

Los especímenes para resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, contracción por secado y deformación diferidas fueron sacados de la cámara húmeda a la edad de 28 días.

Los prismas de contracción por secado y los cilindros de deformación diferida fueron llevados a la cámara seca donde se les mantiene un control de temperatura y humedad (el promedio en el Instituto fue de 24° y 65 % respectivamente) y, es ahí donde se les realizan las mediciones.

#### IV.3.5 Cabecoo de los cilindros.

Los cilindros de concreto para resistencia a la compresi3n y m3dulo de elasticidad fueron cabecooos con azufre (C-617), conforme a las tolerancias de resistencia, di3metro, perpendicularidad, etc; para cada uno de los distintos espec3menes de concreto. Para el caso de concretos de alta resistencia se utiliz3 una mezcla especial del 80 % de azufre y el 20 % de arena que pas3 la malla # 200.



FIGURA IV.3.5.1 CABECEO DE LOS CILINDROS.

#### IV.3.6 Resistencia a la Compresión.

Como se mencionó anteriormente, se obtuvieron 3 especímenes cilíndricos de 15 x 30 cm (excepto alta resistencia, cuyos especímenes fueron de 10 x 20 cm), que fueron almacenados en la cámara húmeda por un lapso de 28 días contados a partir del día en que se efectuó la mezcla.

A éstos se les midió su diámetro transversal promedio, se les colocaron cabezas de azufre y se probaron en la máquina universal donde se realizaron las pruebas de compresión conforme a las normas (C-39). Se cargó la máquina aplicando una carga de 1.4-3.5 Kg/cm/s sin impacto, y se les llevó a la falla. Finalmente se obtuvo el esfuerzo a la compresión dividiendo la carga máxima soportada entre el área transversal promedio de cada cilindro.

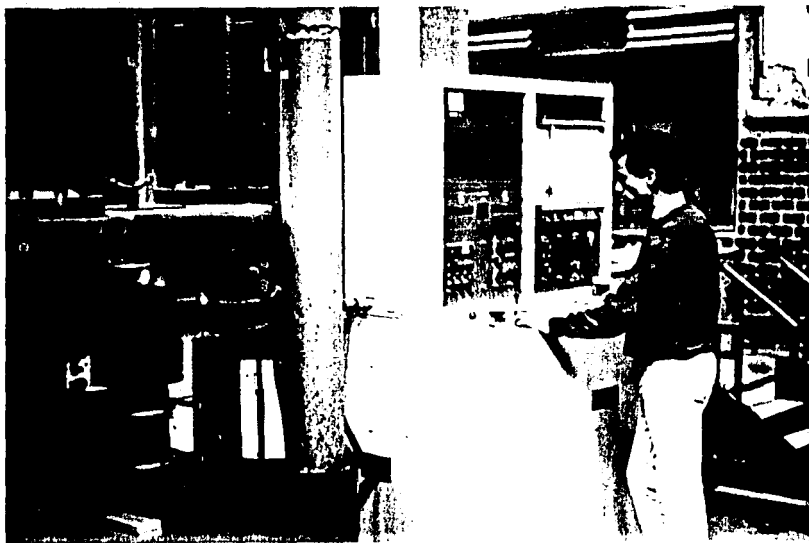


FIGURA IV.3.6.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION.

#### IV.3.7 Módulo de Elasticidad.

Además de obtenerse el diámetro y área, se determinó longitud y peso volumétrico de los cilindros. Éstos se colocaron previamente cabeceados en la máquina universal donde se les instalaron deformímetros que pudieran dar lecturas de la deformación por carga en el eje vertical.

Se aplicaron para cada cilindro 2 precargas con la finalidad de ajustar los medidores. Posteriormente se aplicó 2 veces una carga a una velocidad de  $2.45-0.35 \text{ Kg/cm}^2/\text{s}$ , registrando la carga y deformación longitudinal en los puntos correspondientes a una deformación unitaria longitudinal de 50 millonésimas (deformación longitudinal total dividida entre la longitud efectiva de medición), y a una carga del 40 % de la máxima registrada en la prueba de resistencia a la compresión, disminuyendo hasta cero la carga con la misma velocidad de aplicación de la carga.

Finalmente, una vez hecho ésto en 3 ocasiones, se aplicó la carga hasta llevar al cilindro a la falla para observar tanto el comportamiento elástico como el plástico (C-469):

El Módulo Elástico se obtuvo con la siguiente expresión:

$$M.E. = \frac{s_2 - s_1}{e_1 - 0.00005}$$

donde:

M.E. = módulo elástico.  
 $s_2$  = esf. 40 % del máximo.  
 $s_1$  = esf. def. 5 millonésimas  
 $e_1$  = def. unit. al 40% esf.

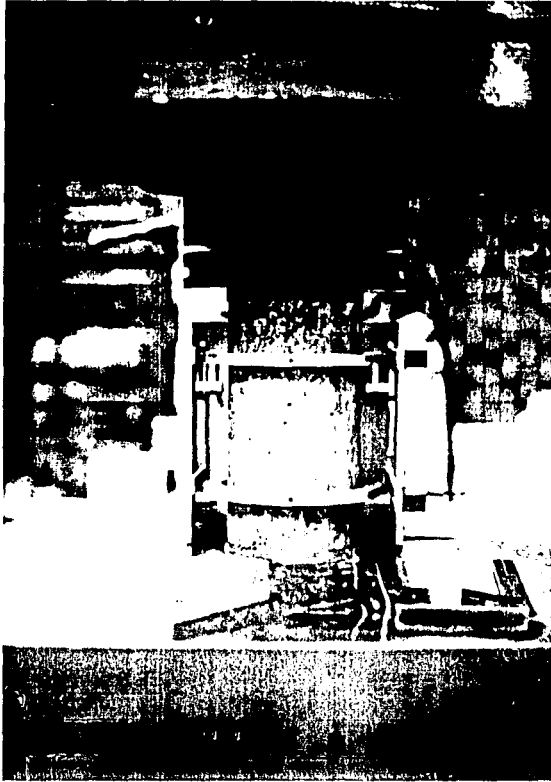


FIGURA IV.3.7.1 MODULO ELASTICO.



#### IV.3.8 Contracción por Secado.

Los prismas que se utilizaron para contracción por secado se sacaron de la cámara húmeda a los 28 días y se llevaron a la cámara seca. Ahí se les hicieron mediciones con un micrómetro de deformación para poder observar las contracciones de los mismos. Se utilizaron cuatro prismas para cada fecha y tipo de concreto, y poder tener así un comportamiento promedio más veraz de éstos.

Teniendo cuidado de no alterar las mediciones del aparato por un cambio de longitud de sus resortes debidos a un cambio de temperatura, se llevó un control con una barra comparadora que no sufre deformaciones por esta causa, de acuerdo con las normas del A.S.T.M. (C-157).

Para la obtención de la contracción por secado así como para la deformación diferida, se usó la siguiente expresión, que es uno de los muchos métodos utilizados en la actualidad y que es el utilizado por el Instituto de Ingeniería (ref.7):

$$Et = \frac{t^a}{b + t^a} (Eu) \quad \text{donde: } Et = \text{def. a un tiempo } t,$$

$t = \text{tiempo.}$   
 $a = \text{pend. de la curva.}$   
 $b = \text{ordenada al origen.}$   
 $Eu = \text{def. unit. última}$

Conforme a las normas, la contracción por secado que se presenta en los prismas se refiere a partir de la medición hecha en el momento de removerlos de sus moldes y llevarlos a la cámara húmeda.

tiempo.



FIGURA IV.3.8.1 CONTRACCION POR SECADO.

#### IV.3.9 Deformación Diferida.

Para la realización de esta prueba se utilizaron 7 cilindros de concreto. Éstos fueron sacados de la cámara húmeda y se les midió diámetro, peso y longitud real. Se secaron y fueron colocados en un marco especial para esta prueba; de los siete cilindros, uno de ellos fue cortado a la mitad y colocado en los extremos del marco, cuatro en el centro de éste y los dos restantes en el mismo cuarto seco pero sin carga, para observar su contracción por secado independientemente de su deformación provocada por carga.

Se alinearon y con un gato hidráulico se les aplicó el 40 % de la carga máxima obtenida en su respectiva prueba a compresión. Con el uso de pernos roscados se aseguró que todos los cilindros presentaran la misma carga axialmente. A los especímenes se les colocaron índices de aluminio para poder medir la contracción provocada tanto por la carga como por la contracción por secado, ya que en este marco se presentan ambas. Las mediciones se hicieron conforme se establece en las normas (C-512).

Conociendo la deformación total, la provocada por la pérdida de humedad y la deformación instantánea, se puede obtener la deformación a largo plazo provocada únicamente por la carga, es decir la deformación diferida.

Para éste cálculo se requirió el mismo programa de computadora utilizado en la contracción por secado, obteniendo la diferencia entre la deformación última y la originada por pérdida de humedad.

La expresión utilizada para el cálculo es la siguiente (ref.7):

$$C_t = \frac{t^a}{b + t^a} (C_u) \quad \text{donde: } C_t = \text{def. a un tiempo } t.$$

$t =$  tiempo  
 $a =$  pend. de la curva.  
 $b =$  ordenada al origen.  
 $C_u =$  def. unitaria última

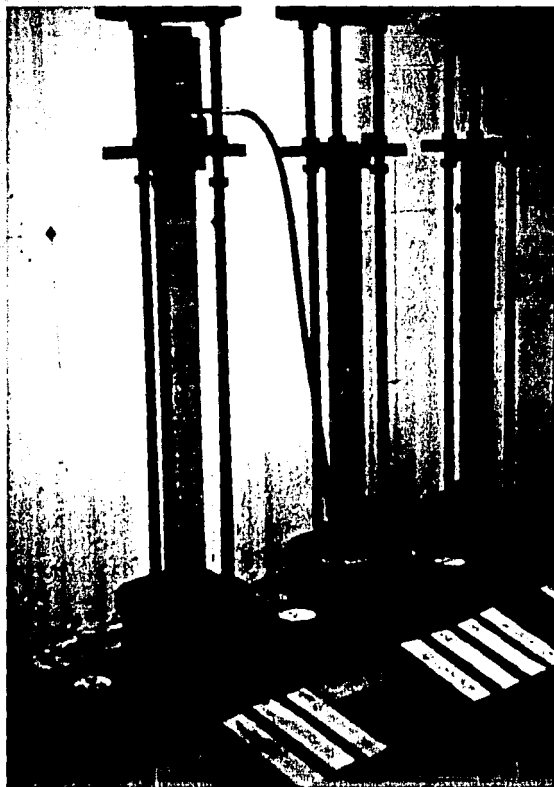


FIGURA IV.3.9.1 DEFORMACION DIFERIDA.

Los resultados de las prueba de compresión, módulo de elasticidad, contracción por secado y deformación diferida, se encuentran en las tablas III.2.1 (concreto normal), III.2.2 (concreto de alta resistencia) y III.2.3 (concreto bombeado).

## V CONCLUSIONES.

En este trabajo, como en la mayoría de las investigaciones, se ha procedido a estudiar empíricamente cómo se afectan las diversas propiedades del concreto. La dificultad de interpretar los datos disponibles proviene del hecho de que, al medir las proporciones de la mezcla, no es posible cambiar un factor sin alterar por lo menos otro. (ref.1).

### V.1 Agregados.

Los agregados son los que ejercen la influencia más importante en la deformación del concreto, puesto que restringen la cantidad de contracción y deformación diferida que puede ocurrir realmente.

El tamaño y granulometría de los agregados no influyen por sí mismos en la magnitud de la contracción, pero los agregados de un tamaño mayor permiten utilizar mezclas con menor cantidad de pasta y, por ello, presentan menores deformaciones.

Por lo general, mezclas con agregado ligero presentan mayor contracción, principalmente porque este agregado, que tiene un módulo de elasticidad menor, ofrece menor restricción a la deformación potencial de la pasta de cemento. Además, el agregado que tiene mayor proporción de material fino (polvos) se contrae aún más, puesto que los finos hacen que haya más huecos.

Basándonos en lo anteriormente expuesto podemos concluir que los concretos presentarán diferentes deformaciones influenciadas principalmente por el tipo de agregado utilizado, cuyo comportamiento, tanto para contracción por secado como para deformación diferida, es el siguiente:

Grava Andesítica	Muy deformable.
Grava Basáltica	Deformable.
Grava Caliza	Poco deformable.

Estas conclusiones se obtuvieron de las tablas de agregados para cada tipo de concreto en el capítulo II y de las figuras V.1.1 y V.1.2, donde se observa comparativamente la contracción por secado y la deformación diferida del concreto con distintos agregados.

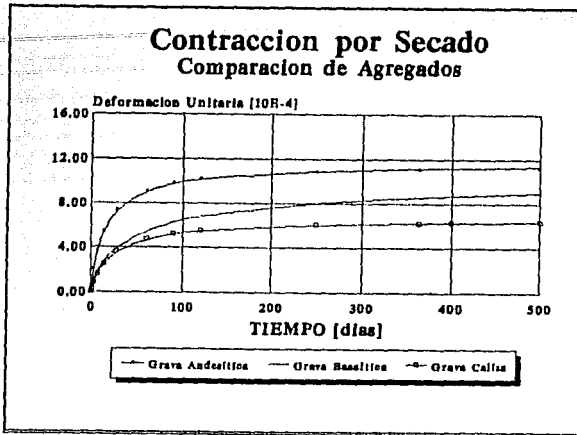


FIGURA V.1.1 CURVAS CONTRACCION POR SECADO-TIEMPO DE CONCRETOS FABRICADOS CON GRAVA ANDESITICA, BASALTICA Y CALIZA.

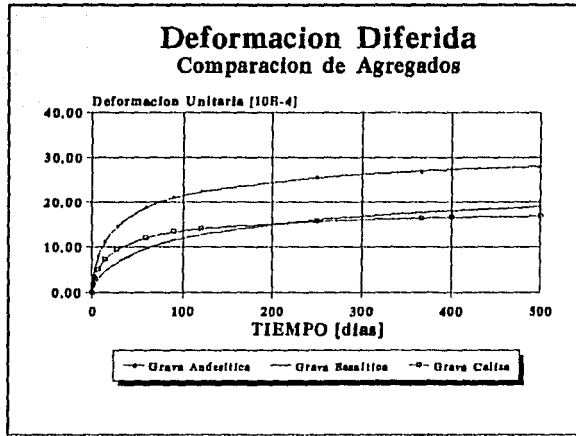


FIGURA V.1.2 CURVAS DEFORMACION DIFERIDA-TIEMPO DE CONCRETOS FABRICADOS CON GRAVAS ANDESITICA, BASALTICA Y CALIZA.



### V.2.1 Concretos Normales.

Los índices de la contracción por secado ( $E_u$ ,  $a$  y  $b$ ), de este tipo de concretos se determinaron a partir de las mediciones realizadas en mezclas con dos tipos diferentes de agregados (andesíticos y basálticos), obteniéndose para cada uno de ellos un promedio de todos los valores generados, y determinándose el rango máximo y mínimo alcanzado.

De igual forma se generaron el resto de las fórmulas presentadas, tomando en cuenta el o los tipos de agregado grueso utilizado, tanto para contracción por secado como para deformación diferida.

La fórmula que nos permite predecir la contracción por secado a cualquier edad, de los concretos estudiados con agregados andesíticos es la siguiente:

$$E_t = \frac{t^{0.75}}{10.14 + t^{0.75}} * 11.69 E^{-04}$$

La contracción que se presentó en diferentes edades fue la siguiente:

- El 30 % de la contracción última ocurrió en 7 días.
- El 42 % de la contracción última ocurrió en 14 días.
- El 55 % de la contracción última ocurrió en 28 días.
- El 66 % de la contracción última ocurrió en 90 días.
- El 89 % de la contracción última ocurrió en 365 días.

Para el caso de las mezclas estudiadas con basaltos, la fórmula obtenida es:

$$E_t = \frac{t^{0.75}}{20.56 + t^{0.75}} * 10.71 E^{-04}$$

Sus respectivos porcentajes de deformación fueron:

- El 17 % de la contracción ultima ocurrió en 7 días.
- El 28 % de la contracción ultima ocurrió en 14 días.
- El 37 % de la contracción ultima ocurrió en 28 días.
- El 61 % de la contracción ultima ocurrió en 90 días.
- El 81 % de la contracción ultima ocurrió en 365 días.

A continuación en la figura V.2.1 se presenta la comparación de la contracción por secado tanto en concretos hechos con grava andesítica como los fabricados con grava basáltica.

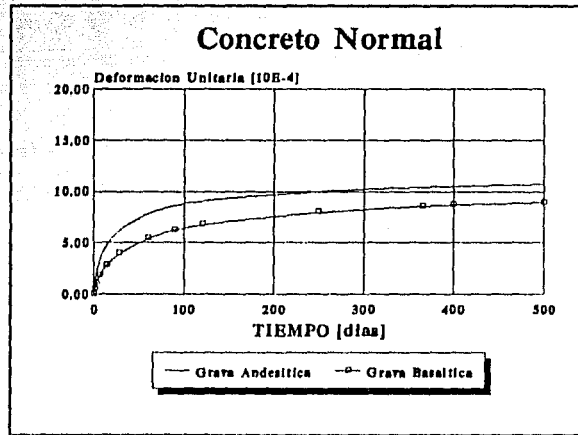


FIGURA V.2.1 CURVAS CONTRACCION POR SECADO-TIEMPO DE CONCRETOS ANDESITICOS Y BASALTICOS.

La fórmula que incluye a los dos tipos de agregados y que genera el comportamiento global de los concretos normales es la siguiente:

$$Et = \frac{t^{0.75}}{15.35 + t^{0.75}} * 11.20 E^{-04}$$

Si se comparan los resultados obtenidos con los determinados en otras investigaciones (ref.1), se puede observar que las deformaciones ultimas encontradas en esta investigación (de 6.90 a 15.20 E<sup>-04</sup>) son un 25 % superiores que las reportadas (de 6.00 a 11.68 E<sup>-04</sup>).

Ademas, la contracción por secado de dichos concretos estudiados continúa incrementándose en forma sensible a edades mas avanzadas que las que corresponden a los otros concretos. Comprobándose así que los concretos normales que se fabrican en el Valle de México son de gran deformabilidad.

#### V.2.2 Concretos de Alta Resistencia.

La ecuación que nos permite predecir la contracción por secado de los concretos de alta resistencia estudiados, es:

$$E_t = \frac{t^{0.90}}{23.53 + t^{0.90}} * 4.83 E^{-04}$$

Los porcentajes de deformación que se obtuvieron para sus diferentes edades fueron:

- El 20 % de la contracción ultima ocurrió en 7 días.
- El 32 % de la contracción ultima ocurrió en 14 días.
- El 46 % de la contracción ultima ocurrió en 28 días.
- El 71 % de la contracción ultima ocurrió en 90 días.
- El 90 % de la contracción ultima ocurrió en 365 días.

En la figura V.2.2 se observa el comportamiento del concreto de alta resistencia estudiado.

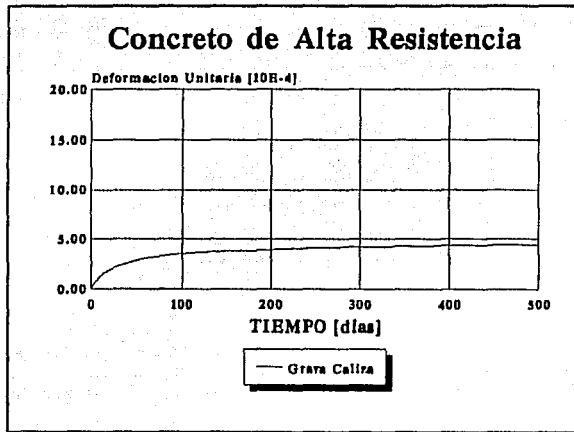


FIGURA V.2.2 CURVA CONTRACCION POR SECADO-TIEMPO DE CONCRETOS CALIZOS.

El empleo de agregados pétreos de calidad, las bajas relaciones agua/cemento y los volúmenes reducidos de pasta que se emplearon para producir los concretos de alta resistencia, nos da como resultado deformaciones de contracción por secado del orden de la mitad de los correspondientes a los concretos normales.

### V.2.3 Concretos Bombeados.

Para este caso, se obtuvieron muestras con dos diferentes tipos de agregados, andesitas y calizas.

La ecuación obtenida para determinar la contracción de los concretos con andesita (clase II) estudiados es:

$$E_t = \frac{t^{1.13}}{16.81 + t^{1.13}} * 11.82 E^{-04}$$

Sus respectivos porcentajes de deformación son:

- El 35 % de la contracción última ocurrió en 7 días.
- El 54 % de la contracción última ocurrió en 14 días.
- El 72 % de la contracción última ocurrió en 28 días.
- El 90 % de la contracción última ocurrió en 90 días.
- El 98 % de la contracción última ocurrió en 365 días.

La contracción de las muestras con agregado calizo puede predecirse con la siguiente fórmula:

$$E_t = \frac{t^{1.00}}{14.71 + t^{1.00}} * 8.54 E^{-04}$$

Los porcentajes de deformación obtenidos son los siguientes:

- El 32 % de la contracción última ocurrió en 7 días.
- El 49 % de la contracción última ocurrió en 14 días.
- El 66 % de la contracción última ocurrió en 28 días.
- El 86 % de la contracción última ocurrió en 90 días.
- El 96 % de la contracción última ocurrió en 365 días.

La figura V.2.3 presenta el comportamiento de los concretos bombeados con los diferentes agregados obtenidos.

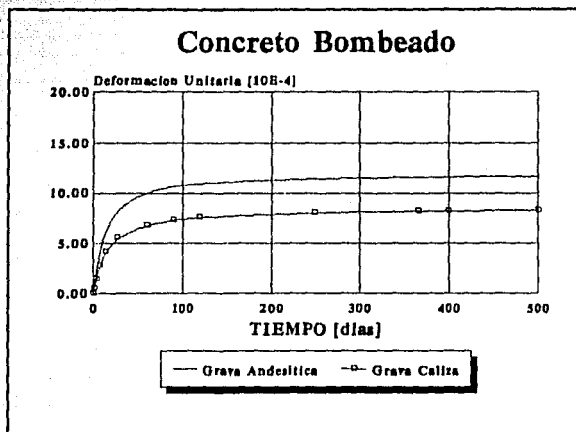


FIGURA V.2.3 CURVAS CONTRACCION POR SECADO-TIEMPO DE CONCRETOS ANDESITICOS Y CALIZOS.

La fórmula que incluye a los dos tipos de agregados y que genera el comportamiento global de los concretos bombeados es la siguiente:

$$E_t = \frac{t^{1.06}}{15.76 + t^{1.06}} * 10.18 E^{-04}$$

Analizando la información obtenida se puede concluir que aunque los concretos bombeados presentaron las mayores deformaciones por contracción, estas no son significativamente mayores a las presentadas por los concretos normales, aunque los rangos de variación fueron mucho mayores para los concretos bombeados; por lo que se debe poner mayor atención en el control de calidad de las compañías concreteras.

#### V.2.4 Conclusiones Generales.

Los agregados son los que ejercen la influencia mas importante, puesto que restringen la cantidad de contracción que puede ocurrir realmente y que influyen en el resultado del resto de las pruebas de concreto realizadas en este estudio (tanto de concreto fresco como de endurecido).

A continuación se presenta una tabla que engloba los rangos de los resultados obtenidos en tales pruebas (tabla V.2.1), con los que posteriormente se obtendrán las conclusiones.

TABLA V.2.1 RANGOS DE VARIACION DE LAS CARACTERISTICAS ESTUDIADAS EN LAS MEZCLAS.

	P. VOL.	MOD. EL.	RESIST.	REL. A/C	a	b	Eu
<b>* Concreto Normal.</b>							
G. And.	1870	135000	260	0.38	0.60	7.02	9.90
	2070	168000	424	0.79	0.94	13.00	13.20
G. Bas.	1900	179000	248	0.43	0.66	9.90	6.90
	2040	237000	452	0.74	0.85	33.30	15.20
<b>* Concreto Alta Resistencia.</b>							
G. Cal.	2352	280000	376	0.27	0.77	13.90	3.80
	2414	419000	777	0.41	1.19	38.30	5.80
<b>* Concreto Bombeado.</b>							
G. And.	2120	138000	275	0.54	0.92	7.45	8.90
	2282	236000	349	0.67	1.33	40.97	15.80
G. Cal.	2185	136000	294	0.54	0.57	3.35	6.28
	2326	259000	386	0.67	1.54	27.89	12.80

Al comparar el peso volumétrico de todas las muestras estudiadas se pudo observar que, a mayor peso volumétrico correspondió una menor contracción por secado.

Se eligió esta característica debido a que en su calculo influye el tipo y cantidad de agregado que tiene la mezcla, la cantidad de agua de la misma; así como por ser una prueba rápida y sencilla.

En la figura V.2.4, se presenta dicha relación para los tres tipos de concreto estudiados.

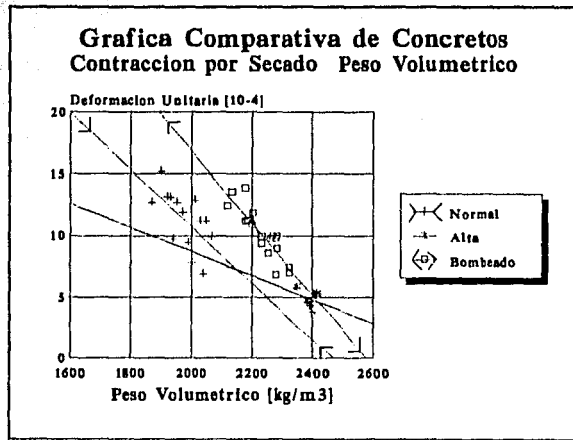


FIGURA V.2.4 GRÁFICA COMPARATIVA CONTRACCIÓN POR SECADO-PESO VOLUMÉTRICO DE CONCRETOS NORMAL, ALTA RESISTENCIA Y BOMBEADO.



El módulo de elasticidad presentó un comportamiento similar, es decir, a mayor módulo de elasticidad menor contracción por secado; lo cual se cumple también para los tres tipos de concreto estudiados, como se aprecia en la figura V.2.5.

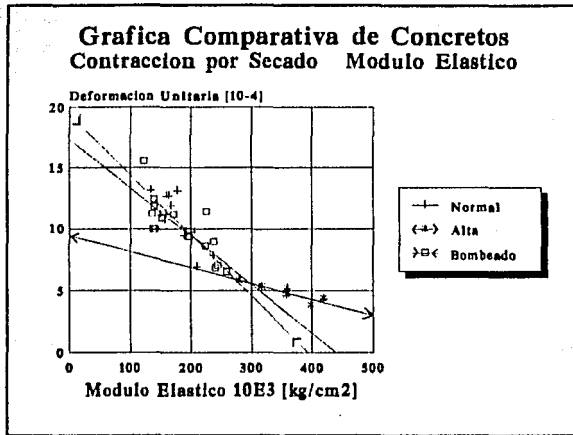


FIGURA V.2.5 GRAFICA COMPARATIVA CONTRACCION POR SECADO-MODULO ELASTICO DE CONCRETOS NORMAL, ALTA RESISTENCIA Y BOMBADO.

La resistencia del concreto tiene considerable efecto en la contracción. En un rango amplio, la contracción es inversamente proporcional a la resistencia del concreto, como se observa en la figura V.2.6.

Puede ser que esta no sea una función fundamental, pero es muy conveniente, ya que en la practica, únicamente se especifica la resistencia de diseño del concreto.

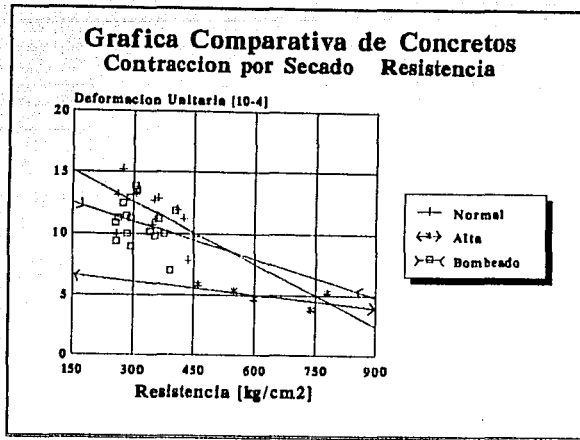


FIGURA V.2.6 GRÁFICA COMPARATIVA CONTRACCION POR SECADO-RESISTENCIA DE CONCRETOS NORMAL, ALTA RESISTENCIA Y BOMBEADO.

Finalmente, se hicieron comparaciones para encontrar la doble influencia que ejercen la cantidad de agua y cemento que contiene una mezcla.

Al comparar la relación agua/cemento se encontró que en ésta se incluyen intrínsecamente el revenimiento y la resistencia.

La figura V.2.7 muestra como a una mayor relación agua/cemento corresponde una mayor contracción.

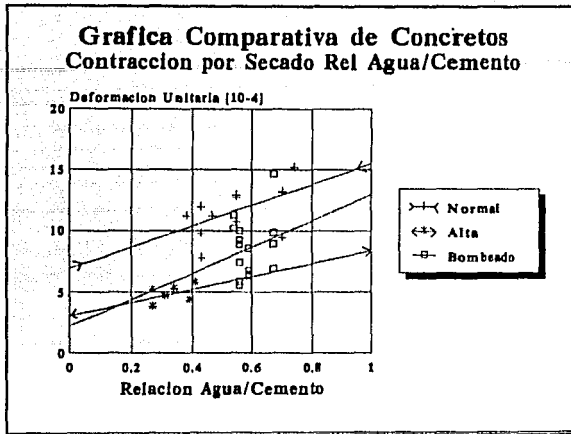


FIGURA V.2.7 GRAFICA COMPARATIVA CONTRACCION POR SECADO-RELACION AGUA/CEMENTO DE CONCRETOS NORMAL, ALTA RESISTENCIA Y BOMBEO.

Corroborando información anteriormente descrita, se concluye que los concretos que más se deforman son los bombeados, seguidos de los normales y, finalmente los de alta resistencia (figura V.2.8).

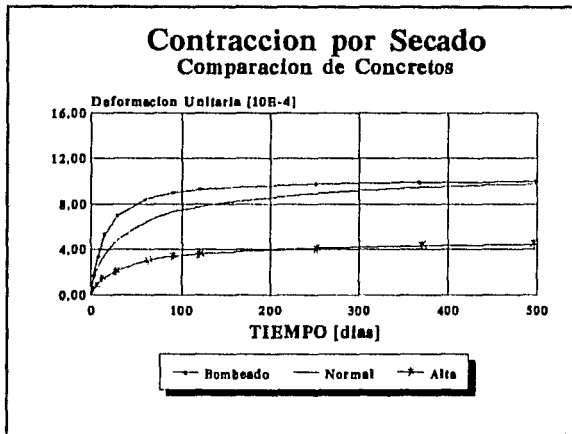


FIGURA V.2.8 CURVAS CONTRACCION POR SECADO-TIEMPO DE CONCRETOS NORMALES, ALTA RESISTENCIA Y BOMBEO.

Si observamos detenidamente la figura V.2.8 podemos darnos cuenta que, inicialmente los concretos bombeados se deforman más rápidamente con respecto a los normales pero, con el paso del tiempo, se estabilizan teniendo una deformación última similar.

### V.3 Deformación Diferida.

#### V.3.1 Concretos Normales.

Los índices de deformación diferida de este tipo de concretos se determinaron a partir de las mediciones realizadas en mezclas con dos tipos diferentes de agregados (andesíticos y basálticos).

La fórmula que nos permite predecir la deformación diferida a cualquier edad, de los concretos estudiados con agregados andesíticos es la siguiente:

$$C_t = \frac{t^{0.58}}{10.58 + t^{0.58}} * 27.80 E^{-04}$$

La deformación que se presentó en diferentes edades fue la siguiente:

- El 23 % de la deformación diferida última ocurrió en 7 días.
- El 30 % de la deformación diferida última ocurrió en 14 días.
- El 40 % de la deformación diferida última ocurrió en 28 días.
- El 56 % de la deformación diferida última ocurrió en 90 días.
- El 74 % de la deformación diferida última ocurrió en 365 días.

Para el caso de las mezclas estudiadas con basaltos, la fórmula obtenida es:

$$C_t = \frac{t^{0.70}}{29.20 + t^{0.70}} * 25.87 E^{-04}$$

Sus respectivos porcentajes de deformación fueron:

- El 12 % de la deformación diferida última ocurrió en 7 días.
- El 18 % de la deformación diferida última ocurrió en 14 días.
- El 26 % de la deformación diferida última ocurrió en 28 días.
- El 45 % de la deformación diferida última ocurrió en 90 días.
- El 68 % de la deformación diferida última ocurrió en 365 días.

A continuación en la figura V.3.1 se presenta la comparación de la deformación diferida tanto en concretos hechos con grava andesítica como con grava basáltica.

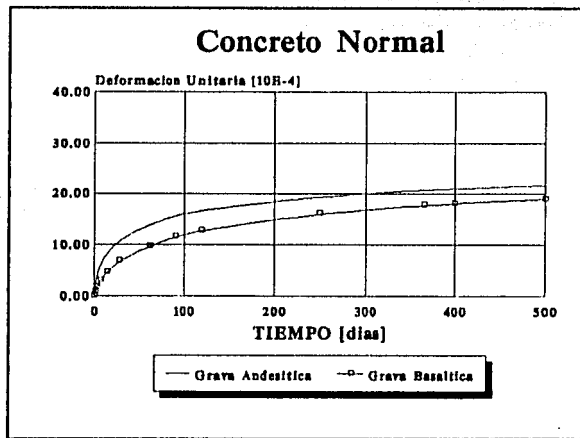


FIGURA V.3.1 DEFORMACION DIFERIDA-TIEMPO DE CONCRETOS ANDESITICOS Y BASALTICOS.

La fórmula que incluye a los dos tipos de agregados y que genera el comportamiento global de los concretos normales es la siguiente:

$$C_t = \frac{t^{0.64}}{19.89 + t^{0.64}} * 26.84 E^{-04}$$

Si se comparan las deformaciones diferidas últimas con las reportadas (ref.1), se puede observar que el intervalo de variación encontrado en esta investigación está entre 18.40 y 37.70 E<sup>-04</sup>, en tanto que el reportado por la literatura al respecto varía entre 12 y 20 E<sup>-04</sup>.

Este incremento notorio en la deformación diferida última es una evidencia adicional de la gran deformabilidad de los concretos fabricados en el D.F. y una justificación de la necesidad de su estudio.

### V.3.2 Concretos de Alta Resistencia.

La ecuación que nos permite predecir la deformación diferida de los concretos de alta resistencia estudiados, es:

$$C_t = \frac{t^{0.70}}{15.32 + t^{0.70}} * 8.00 E^{-04}$$

Los porcentajes de deformación que se obtuvieron para sus diferentes edades fueron:

- El 23 % de la deformación diferida última ocurrió en 7 días.
- El 29 % de la deformación diferida última ocurrió en 14 días.
- El 40 % de la deformación diferida última ocurrió en 28 días.
- El 60 % de la deformación diferida última ocurrió en 90 días.
- El 80 % de la deformación diferida última ocurrió en 365 días.

En la figura V.3.2 se observa el comportamiento del concreto de alta resistencia estudiado.

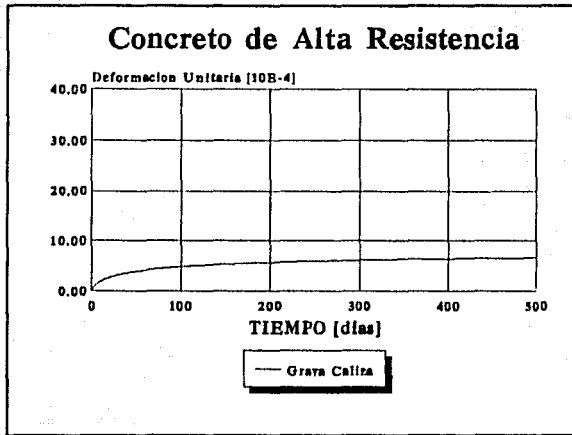


FIGURA V.3.2 CURVA DEFORMACION DIFERIDA-TIEMPO DE CONCRETOS CALIZOS.

Al igual que en la contracción por secado, la deformación diferida de los concretos de alta resistencia es significativamente menor que la de concretos normales.

Al comparar la deformación diferida última de los de alta resistencia (de 5.37 a 12.40 E<sup>-04</sup>) y de los normales (de 18.40 a 37.30 E<sup>-04</sup>), se puede observar que la primera representa una tercera parte de las deformación observada en estos últimos.

### V.3.3 Concretos Bombeados.

Al igual que en la contracción por secado, se obtuvieron muestras con dos diferentes tipos de agregados, andesitas y calizas.

La ecuación obtenida para determinar la deformación diferida de los concretos con andesita (clase II) estudiados es la siguiente:

$$C_t = \frac{t^{0.73}}{11.87 + t^{0.73}} * 39.10 E^{-04}$$

Sus porcentajes de deformación son:

- El 26 % de la deformación diferida última ocurrió en 7 días.
- El 37 % de la deformación diferida última ocurrió en 14 días.
- El 49 % de la deformación diferida última ocurrió en 28 días.
- El 69 % de la deformación diferida última ocurrió en 90 días.
- El 86 % de la deformación diferida última ocurrió en 365 días.

La deformación diferida a cualquier edad de las muestras con agregado calizo (clase I), puede predecirse con la siguiente fórmula:

$$C_t = \frac{t^{0.75}}{6.19 + t^{0.75}} * 29.65 E^{-04}$$

Los respectivos porcentajes de deformación son los siguientes:

- El 41 % de la deformación diferida última ocurrió en 7 días.
- El 54 % de la deformación diferida última ocurrió en 14 días.
- El 66 % de la deformación diferida última ocurrió en 28 días.
- El 82 % de la deformación diferida última ocurrió en 90 días.
- El 93 % de la deformación diferida última ocurrió en 365 días.

La figura V.3.3 presenta el comportamiento de los concretos bombeados con los diferentes agregados utilizados.



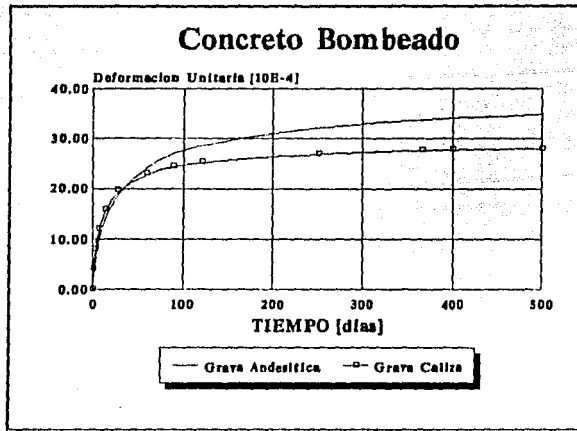


FIGURA V.3.3 CURVAS DEFORMACION DIFERIDA-TIEMPO DE CONCRETOS ANDESITICOS Y CALIZOS.

La fórmula que incluye a los dos tipos de agregados y que genera el comportamiento global de los concretos bombeados es la siguiente:

$$C_t = \frac{t^{0.74}}{9.03 + t^{0.74}} * 34.38 E^{-04}$$

Como era de esperarse, los concretos bombeados presentaron las mayores deformaciones. Analizando el promedio de deformación de estos concretos (de  $34.38 E^{-04}$ ) y comparándolo con el de concretos normales (de  $26.84 E^{-04}$ ), se observa que la deformación de los primeros es un 32 % mayor.

### V.3.4 Conclusiones Generales.

La situación de la deformación diferida es similar a la que se observa en la contracción por secado, es decir, los agregados representaron la influencia más importante. Debe notarse que es la pasta de cemento la que realmente sufre la deformación, y que la función del agregado es, primordialmente, la restricción.

A continuación se presenta una tabla que engloba los rangos de variación de las características de los concretos (tabla V.3.1).

TABLA V.3.1 RANGOS DE VARIACION DE LAS CARACTERISTICAS ESTUDIADAS EN LAS MEZCLAS.

	P. VOL.	MOD. EL.	RESIST.	REL. A/C	a	b	Cu
<b>* Concreto Normal.</b>							
G. And.	1850	151000	343	0.47	0.52	8.90	19.50
	2050	165000	354	0.55	0.61	12.60	37.30
G. Bas.	1990	179000	275	0.55	0.59	13.40	18.40
	2049	213000	356	0.74	0.80	46.30	34.50
<b>* Concreto Alta Resistencia.</b>							
G. Cal.	2352	280000	460	0.27	0.69	14.77	5.37
	2414	398000	737	0.41	0.75	16.01	12.40
<b>* Concreto Bombeado.</b>							
G. And.	2282	138000	285	0.56	0.73	11.87	39.10
	2282	138000	285	0.56	0.73	11.87	39.10
G. Cal.	2278	244000	263	0.59	0.70	4.80	27.50
	2326	259000	386	0.67	0.80	7.58	31.80

En forma similar a la contracción por secado, a mayor peso volumétrico correspondió una menor deformación diferida; siendo esta característica de gran importancia como se menciona en la figura V.3.4.

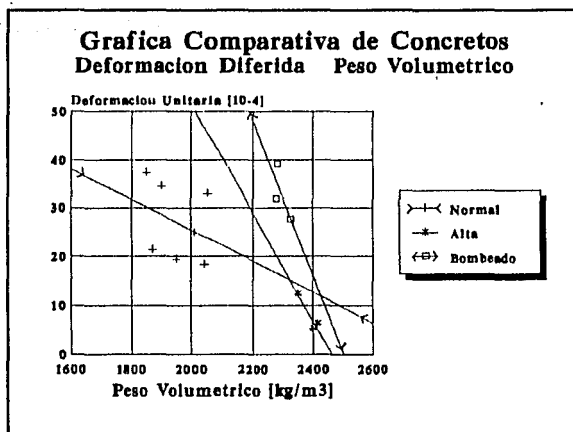


FIGURA V.3.4 GRÁFICA COMPARATIVA DEFORMACION DIFERIDA-PEÑO VOLUMÉTRICO DE CONCRETOS NORMAL, ALTA RESISTENCIA Y BOMBEO.

El módulo de elasticidad presentó un comportamiento similar, es decir, a mayor módulo de elasticidad menor deformación diferida; lo cuál se cumple también para los tres tipos de concreto estudiados, como se muestra en la figura V.3.5.

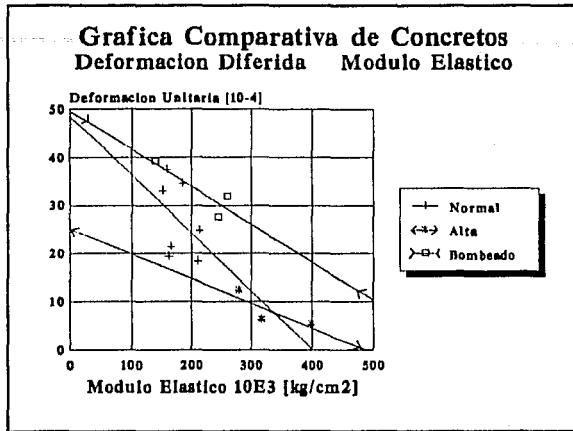


FIGURA V.3.5 GRAFICA COMPARATIVA DEFORMACION DIFERIDA-MODULO ELASTICO DE CONCRETOS NORMAL, ALTA RESISTENCIA Y BOMBEADO.

La resistencia del concreto tiene considerable efecto en la deformación diferida. En un rango amplio, la deformación es inversamente proporcional a la resistencia del concreto, como se observa en la figura V.3.6.

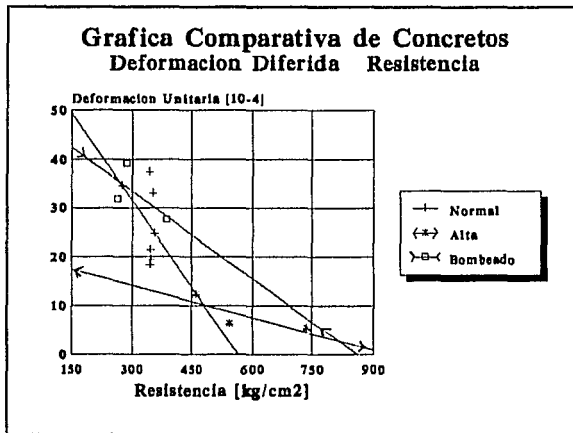


FIGURA V.3.6 GRAFICA COMPARATIVA DEFORMACION DIFERIDA-RESISTENCIA DE CONCRETOS NORMAL, ALTA RESISTENCIA Y BOMBEADO.

Al estudiar la relación agua/cemento, de la misma forma que en la contracción por secado, se encontró un comportamiento directamente proporcional, ésto es, a mayor relación agua/cemento corresponde una deformación mayor; lo cual se puede observar en la figura V.3.7.

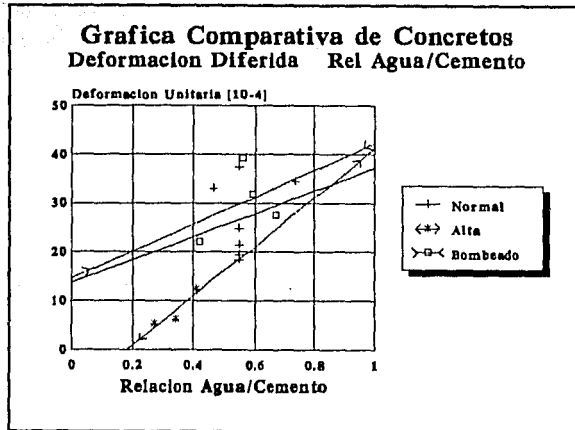


FIGURA V.3.7 GRAFICA COMPARATIVA DEFORMACION DIFERIDA-RELACION AGUA/CEMENTO DE CONCRETOS NORMAL, ALTA RESISTENCIA Y BOMBEADO.

Finalmente, se estudió la relación que guarda la deformación diferida (deformación a largo plazo), con la deformación instantánea; conocido como coeficiente de deformación (deformación diferida/deformación instantánea).

Para ambos casos, se mantuvo la condición del 40 % de la carga máxima a compresión. El objetivo de ésto fue el conocer en qué proporción es mayor la deformación a largo plazo sobre la instantánea.

Los resultados obtenidos (deformación diferida, instantánea y coeficiente de deformación), aparecen a continuación en la tabla V.3.2.

TABLA V.3.2 COEFICIENTES DE DEFORMACION DIFERIDA PARA LOS TRES TIPOS DE CONCRETO.

TIPO	REFERENCIA	DEFORMACION DIFERIDA E <sup>-04</sup>	DEFORMACION INSTANTANEA E <sup>-04</sup>	COEF. DE DEFORMACION
Normal	770504	19.5	8.49	2.3
	770602	21.5	8.27	2.6
	770516	37.3	8.49	4.4
	770520	32.9	9.15	3.6
	770718	34.5	5.85	5.9
	770726	24.7	6.67	3.7
	770719	18.4	6.57	2.8
Alta Resist.	910115	12.9	6.54	1.9
	901108	6.2	6.92	0.9
	901031	5.3	7.53	0.7
Bomb.	920213	39.1	8.11	4.8
	920129	27.5	6.46	4.3
	920423	31.8	4.21	7.5

Como se pudo observar, los concretos que mayor deformación diferida presentaron fueron los bombeados, seguidos de los normales y, finalmente, los de alta resistencia (figura V.3.8).

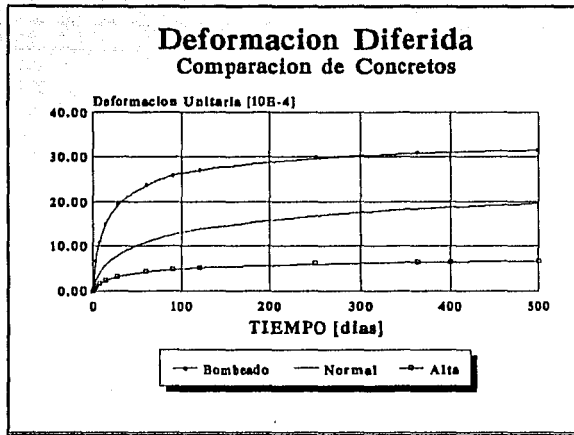


FIGURA V.3.8 CURVAS DEFORMACION DIFERIDA-TIEMPO DE CONCRETOS NORMALES, ALTA RESISTENCIA Y BOMBADOS.

En forma general, aún cuando los fenómenos de contracción por secado y deformación diferida son de naturaleza distinta, el comportamiento y las causas que lo originan son similares para ambos.

## REFERENCIAS.

1. Neville, M.A., "Tecnología del Concreto", tomo 2, Limusa, México, D.F. (1989).
2. Instituto de Ingeniería, U.N.A.M., "Comentarios, ayudas de diseño y ejemplos de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, D.D.F.", *Series del Instituto de Ingeniería*, México, D.F., No ES-2 (nov 1991).
3. Mendoza, E.C., "Propiedades Mecánicas de los Concretos fabricados en el D.F.", U.N.A.M., México, D.F.



4. Zdenek, V. y Smenda K., "Creep and Shrinkage of Concrete Elements and Structures", Elsevier (1988).
5. Aire, M.C., "Concretos de Alta Resistencia", U.N.A.M., México, D.F. (1991).
6. American Society for Testing and Materials, "Concrete and Mineral Aggregates", 1977 Annual Book of A.S.T.M. Standards Part 14, Philadelphia, E.U., Publicación A.S.T.M. (1977).
7. A.C.I. Committee 209, "Prediction of Creep, Shrinkage and Temperature effects in Concrete Structures", Publicación A.C.I., E.U.A., No SP-27 (1971).