

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



**INFLUENCIA DE LOS METODOS COMUNES
DE CURADO EN LOS ESPECIMENES DE
CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO**

TESIS

Para optar el Título profesional de :

INGENIERO CIVIL

Patricia Angélica Ruíz Enero

Lima – Perú
2006

DEDICATORIA

A mis padres:

Angélica y Mario, por su apoyo, confianza y comprensión. Gracias

A Hugo, por apoyarme continuamente en la realización de mi tesis.

Agradecimientos

A todos los que me ayudaron a conseguir esta meta, en especial al Ing. Carlos Barzola Gastelú, asesor de esta tesis.

También agradezco a las instituciones que colaboraron en la presente investigación:

CEMENTOS LIMA S.A - ASOCEM

SIKA PERU S.A.

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - UNI

INDICE

	Página
Resumen	1
Introducción	2
CAPITULO 1	Materiales
1.1 Agregados	4
1.1.1 Propiedades	4
1.2 Cemento	10
1.3 Aditivo	11
1.4 Agua	12
CAPITULO 2	Curado
2.1 Definición	13
2.2 Requisitos de un buen curado	13
2.3 Métodos de Curado	14
2.3.1 Curado con agua	14
2.3.2 Curado con materiales sellantes	14
2.3.3 Curado a vapor	15
CAPITULO 3	Diseño de Mezclas
3.1 Diseño de Mezcla del Concreto Patrón	16
3.2 Diseño de Mezcla del Concreto Concreto con aditivo	19
CAPITULO 4	Propiedades del Concreto al Estado Fresco y Endurecido
4.1 Propiedades del Concreto al Estado Fresco	21
4.1.1 Consistencia	21
4.1.2 Peso Unitario	21
4.1.3 Contenido de Aire	22
4.1.4 Exudación	22
4.1.5 Fluidéz	22
4.1.6 Tiempo de Fraguado	23
4.2 Propiedades del Concreto al Estado Endurecido	23
4.2.1 Resistencia a la Compresión	23
4.2.2 Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral	24
4.2.3 Módulo de Elasticidad	24
CAPITULO 5	Cuadros de Resultados y Gráficos
5.1 Cuadros y gráficos comparativos de las mezclas de concreto	26
5.1.1 Ensayo de Concreto fresco	26
5.1.1.1 Asentamiento	26
5.1.1.2 Peso Unitario y Contenido de Aire	28
5.1.1.3 Exudación	30
5.1.1.4 Fluidéz	30
5.1.1.5 Tiempo de Fraguado	32
5.1.2 Ensayos en Concreto Endurecido	34
5.1.2.1 Resistencia a la Compresión del concreto	34
5.1.2.1.1 Análisis Comparativo de la resistencia de las mezclas de concreto (P-45, CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0%) con respecto al concreto patrón y curado patrón.	38

5.1.2.1.2	Análisis Comparativo de la resistencia de las mezclas de concreto (P-45, CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0%) con respecto al concreto patrón.	42
5.1.2.1.3	Análisis Comparativo de la resistencia de las mezclas de concreto (P-45, CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0%) con respecto a la resistencia obtenida a los 28d	46
5.1.2.2	Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral del concreto	50
5.1.2.3	Módulo de Elasticidad del concreto	52

CAPITULO 6

Análisis de los Resultados

6.1	Ensayo de Concreto Fresco.	54
6.1.1	Asentamiento	54
6.1.2	Peso Unitario y Contenido de Aire	55
6.1.3	Exudación	56
6.1.4	Fluidez	57
6.1.5	Tiempo de Fraguado	57
6.2	Ensayo de Concreto Endurecido	58
6.2.1	Resistencia a la Compresión del concreto	58
6.2.1.1	Análisis Comparativo de la resistencia de las mezclas de concreto (P-45, CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0%) con respecto al concreto patrón y curado patrón	60
6.2.1.2	Análisis Comparativo de la resistencia de las mezclas de concreto (P-45, CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0%) con respecto al concreto patrón	61
6.2.1.3	Análisis Comparativo de la resistencia de las mezclas de concreto (P-45, CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0%) con respecto a la resistencia obtenida a los 28 días del concreto	62
6.2.2	Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral del concreto	63
6.2.3	Módulo de Elasticidad del concreto	64

CAPITULO 7

Análisis de Costos

Conclusiones y Recomendaciones

	Conclusiones	67
	Recomendaciones	69
	Bibliografía	70

Anexos

	Anexo 1: Materiales	73
	Anexo 2: Diseño de Mezclas	80
	Anexo 3: Fotografías	86
	Anexo 4: Ensayos en Concreto Fresco	91
	Anexo 5: Ensayos en Concreto Endurecido	95
	Anexo 6: Artículo: Avances en la Tecnología del Concreto	121

RESUMEN

La importancia del curado es cada día más evidente debido a que con los avances que existen en la tecnología del concreto, éste ha dado origen a concretos que tiene una tasa de desarrollo de resistencia muy rápida. Debido a la ganancia rápida de resistencia del concreto, por ignorancia, existe la excusa de los contratistas de discontinuar el curado a una edad temprana.

Es por ello que el presente estudio tiene como objetivo ampliar los conocimientos acerca de los efectos que producen varias condiciones de curado en el desarrollo de las propiedades del concreto de alto desempeño. Para esto se realizó el estudio de la mezcla de concreto "normal" cuya relación a/c =0.45, y con asentamiento de 3" – 4" , mientras que las mezclas de concreto de alto desempeño fueron generadas a partir del concreto "normal" con reducción de agua mediante la adición del aditivo superplastificante "Sika Viscocrete 20HE" en diferentes dosificaciones. Las mezclas de concreto generadas fueron sometidas a los ensayos de concreto al estado fresco y endurecido, en el primer caso con el fin de analizar los cambios en el comportamiento de las mezclas de concreto por la adición del aditivo, mientras que en el caso del concreto endurecido, las probetas fabricadas fueron sometidas a diferentes métodos de curado (curado húmedo, curado al ambiente y utilizando curador químico), y se ensayaron a los 1, 3, 7 y 28d. Para el método de curado químico se utilizó el curador "Antisol", aplicándose solo una capa del curador sobre las probetas de concreto.

En cada uno de los ensayos del concreto al estado fresco y endurecido se realizó el análisis comparativo con respecto al concreto patrón y curado patrón.

El objetivo principal de la presente investigación es analizar la eficiencia de estos métodos de curado a fin de establecer su influencia en los concretos de alto desempeño(concreto con aditivo).



Introducción

INTRODUCCIÓN

El concreto es el material de construcción más ampliamente usado en el mundo, gracias a la facilidad con que puede ser moldeado en una gran variedad de formas y tamaños. Es por ello que las investigaciones y estudios que en el transcurrir de los años se han realizado, ha dado origen a una variedad de concretos (Concretos con Agregados Livianos y Pesados, concretos de alta resistencia, concretos de alta resistencia inicial, concretos con fibra de refuerzo, concretos autocompactantes, concretos de alto desempeño, etc.).

Siendo el Concreto de Alto Desempeño (CAD)⁽¹⁾ parte de ésta investigación, sus características principales son: muy buena trabajabilidad, alta resistencia y gran durabilidad, esta última característica es el requisito indispensable de este tipo de concreto. Ya que no puede obtenerse una gran durabilidad en condiciones ambientales severas, a menos que la estructura permanezca libre de grietas durante toda su vida de servicio. Por ello es importante obtener un concreto de buena calidad, el cual se logra con un adecuado diseño de mezclas, un buen proceso de puesta en obra y un adecuado curado, ésta última etapa da al concreto las características de resistencia y durabilidad.

En la actualidad existe una gran variedad de métodos de curado desde el más común como el agua hasta los curadores químicos, los cuales utilizan materiales sellantes, cuya función es mantener una cantidad suficiente de humedad para que se desarrolle un cierto nivel de resistencia. Todos estos métodos de curados han sido desarrollados para concretos normales, pero ¿qué tan eficiente es para el concreto de alto desempeño y otros tipos de concretos cuyos materiales constituyentes difieren del concreto normal?. Es por ello que en la presente tesis se realiza el estudio de la influencia de los métodos de curado en los especímenes de concreto de alto desempeño, el cual consta de 7 capítulos y está dividido de la siguiente manera:

En el capítulo 1, se presenta una revisión de las propiedades principales de los materiales utilizados en esta investigación. Los agregados fueron ensayados con el fin de conocer sus propiedades, mientras que las características del cemento y el aditivo superplastificante fueron proporcionadas por los fabricantes. El agua utilizada fue potable.

El capítulo 2, contiene conceptos generales referente al curado, requerimientos, así como los métodos de curado más comunes utilizados, los cuales se detallan en este capítulo, además se describe las características principales del curador químico utilizado para el presente estudio.

(1) Avances en la Tecnología del Concreto – P. Kumar Mehta (Ref. Anexo 6)

El capítulo 3, está referido al diseño de mezcla del concreto normal (concreto patrón) de relación $a/c= 0.45$, y a partir de la mezcla de concreto patrón se generó los concretos de alto desempeño (concreto con aditivo), mediante la reducción de agua y con el aditivo superplastificante. Las dosificaciones de aditivo superplastificante que se utilizaron fueron 0.8, 1.4 y 2.0% en peso de cemento.

En el capítulo 4, se explican brevemente las propiedades principales del concreto tanto al estado fresco y endurecido y que además fueron obtenidos tanto para la mezcla de concreto patrón como para la mezcla de concreto de alto desempeño (concreto con aditivo).

Del estudio realizado al Concreto patrón y al Concreto de alto desempeño a continuación se presentan los resultados obtenidos en las diferentes mezclas de concreto generadas a través de los ensayos realizados de las mezclas tanto al estado fresco como endurecido (asentamiento, fluidez, resistencia a compresión, etc.), también se realizaron las comparaciones de las mezclas de concreto de alto desempeño (concreto con aditivo) con respecto a la mezcla de concreto normal (concreto patrón), todo esto es desarrollado en el capítulo 5. Además se debe recalcar que en el estado endurecido las probetas fueron sometidas a diferentes métodos de curado (curado húmedo, curado al ambiente y utilizando curador químico), con el fin de analizar la variación de la resistencia. En el caso del curado químico, se aplicó solo una capa del curador sobre las probetas de concreto.

A continuación en el capítulo 6, se realiza el análisis de los resultados presentados en el capítulo anterior.

Para concluir en el capítulo 7 se realiza un análisis de costos acerca de los beneficios que conllevan la utilización del curador químico.

Capitulo I :

Materiales



1.1 AGREGADOS

Generalmente se entiende por agregado a la mezcla de arena y piedra de granulometría variable. Los agregados conforman el esqueleto granular del concreto y son el elemento mayoritario pues representan el 70% - 80% de la masa del concreto, además de ser responsables de gran parte de las características del mismo. Los agregados son generalmente inertes y estables en sus dimensiones.

Los agregados se clasifican en:

- Agregado Grueso, se define como aquel material retenido en el tamiz N° 4 (4.75 mm).
- Agregado Fino, se define como aquel material proveniente de la desintegración natural o artificial de las roca, el cual pasa el tamiz 3/8" (9.4 mm).
- Agregado Global, combinación en proporciones determinadas de arena y piedra.

Tanto el agregado grueso como el fino deben cumplir con los límites establecidos en las normas NTP 400.037 ó ASTM C33.

En esta investigación se utilizó agregado fino de la cantera "La Molina" y el agregado grueso de la cantera "La Gloria".

1.1.1 PROPIEDADES

PESO UNITARIO

El peso unitario o peso aparente del agregado, es el peso que alcanza un determinado volumen unitario. Depende de ciertas condiciones intrínsecas del agregado, así como: contenido de humedad, forma, tamaño, granulometría y de factores externos como : grado de compactación impuesto, diámetro nominal máximo en relación con el volumen.

Existen dos tipos de pesos unitarios:

a. **Peso unitario suelto (P.U.S)**

Es la relación entre el peso del material suelto y el volumen del recipiente que lo contiene

$$P.U.S = \frac{\text{Peso del material suelto}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

b. **Peso unitario compactado (P.U.C.)**

Es la relación entre el peso del material compactado y el volumen del recipiente que lo contiene.

$$P.U.S = \frac{\text{Peso del material compactado}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

Para determinar los diferentes tipos de pesos unitarios en el agregado fino y grueso, es necesario que el material esté totalmente seco, ya que en el caso del agregado grueso incrementos en el contenido de humedad aumenta su peso unitario; mientras que en el agregado fino incrementos más allá de la condición de saturado superficialmente seco pueden disminuir el peso unitario debido a la película superficial de agua que se forma provocando que las partículas estén juntas, facilitando de esta manera la compactación con un incremento en el volumen y disminución del peso unitario. Este proceso es conocido como esponjamiento, siendo de poca importancia si la dosificación es en peso, pero si se dosifica en volumen, el esponjamiento debe ser considerado cuando existen cambios en la humedad del agregado.



PESO ESPECIFICO (P.E.)

Se define como la relación a una temperatura estable, de la masa de un volumen unitario de material, a la masa del mismo volumen de agua destilada, libre de gas. El peso específico es un indicador de la calidad, valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que un valor bajo se refiere a agregados absorbentes y débiles.

Según la norma peruana NTP400.021 y la norma ASTM C 127, se consideran tres formas de expresión del peso específico:

a. **Peso específico de masa.**

Es la relación a una temperatura estable de la masa en el aire de un volumen unitario de material (incluyendo los poros permeables naturales) a la masa en el aire de la misma densidad, de un volumen igual de agua destilada libre de gas.

b. **Peso específico de masa saturado superficialmente seco.**

Similar al peso específico de masa, excepto que la masa incluye el agua en los poros permeables.

c. **Peso específico aparente.**

Es la relación a una temperatura de la masa en el aire de un volumen unitario de material, a la masa de aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gas. Si el material es un sólido, el volumen es aquel de la porción impermeable.

Los ensayos que se realizaron para determinar el peso específico de los agregados fueron:

Para el agregado Fino se utilizó la fiola, mientras que para el agregado grueso se utilizó la balanza hidrostática, como medios para determinar el peso específico.

ABSORCIÓN

La absorción es el valor de la humedad del agregado cuando tiene todos sus poros llenos de agua, pero su superficie se encuentra seca. Se utiliza generalmente en los cálculos de dosificación para elaborar el concreto. Sin embargo el agregado en la cantera y/o los acopios puede tener cualquier contenido de humedad.

Si la humedad es inferior a la absorción, se deberá agregar más agua al concreto para compensar la que absorberán los agregados. Por el contrario, si la humedad supera a la absorción, habrá que quitar agua al concreto ya que los agregados estarán aportando agua.

El porcentaje de absorción del agregado es la relación entre la cantidad de agua que puede absorber el material y el peso seco del mismo.

$$\% \text{ de Absorción del A. Fino} = \frac{100 \times (500 - A)}{A}$$

$$\% \text{ de Absorción del A. Grueso} = \frac{100 \times (B - A)}{A}$$

Donde:

- A : Peso seco del agregado fino o grueso
- B : Peso del Agregado grueso en estado natural



CONTENIDO DE HUMEDAD (C.H.)

Es la cantidad de agua que posee el material en estado natural, es importante debido a que puede hacer variar la relación a/c del diseño de mezcla y por tanto influye en la resistencia y otras propiedades del concreto. En consecuencia es necesario controlar la dosis de agua.

$$C.H = \frac{(\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}) \times 100}{\text{Peso seco}}$$

GRANULOMETRÍA

Se denomina así a la distribución por tamaños de las partículas que constituyen un agregado y se expresa como el porcentaje en peso de cada tamaño con respecto al peso total.

La norma ASTM C33 ó NTP 400.037 establece los límites granulométricos, donde debe estar comprendida la arena (cuadro 1.1) y el agregado grueso (cuadro 1.2) a fin de ser aptos para la elaboración de concretos. Estos límites son definidos por los llamados husos granulométricos que representan los rangos dentro los cuales deben estar determinada gradación para obtener la distribución de partículas más adecuada para la elaboración del concreto.

Cuadro 1.1

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO

Porcentaje en peso que pasa			
TAMIZ	Grupo C	Grupo M	Grupo F
9.5 mm (3/8")	100	100	100
4.75mm (N°4)	95 - 100	89 - 100	90 - 100
2.36mm (N° 8)	80 - 100	65 - 100	80 - 100
1.18mm (N° 16)	50 - 85	45 - 100	70 - 100
0.6mm (N° 30)	25 - 60	25 - 80	55 - 100
0.3mm(N° 50)	10 - 30	5 - 48	5 - 70
0.15mm (N°100)	2 - 10	0 - 12	0 - 12

Cuadro 1.2

REQUERIMIENTOS DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO

N° ASTM	Tamaño Nominal en pulgadas	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS												
		4" 100mm	3 1/2" 90mm	3" 75mm	2 1/2" 63mm	2" 50mm	1 1/2" 37.5mm	1" 25mm	3/4" 18mm	1/2" 12.5mm	3/8" 9.5mm	N° 4 4.75mm	N° 8 .36mm	N° 16 1.16mm
1	3 1/2" a 1 1/2"	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5					
2	2 1/2" a 1 1/2"			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
3	2" a 1"				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5				
357	2" a N° 4				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30			0 a 5	
4	1 1/2" a 3/4"					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5			
467	1 1/2" a N° 4					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5	
5	1" a 1/2"						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5			
56	1" a 3/8"						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5		
57	1" a N° 4						100	95 a 100		25 a 60			0 a 10	0 a 5
6	3/4" a 3/8"							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5		
67	3/4" a N° 4							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5	
7	1/2" a N° 4								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	
8	3/8" a N° 8									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5



En el caso del agregado global también existen límites granulométricos que dan referencia de la calidad del agregado grueso y fino en conjunto y que son establecidos por la NTP 400.037 (Cuadro 1.3) y la Norma DIN 1045 (Cuadro 1.4).

La importancia de la granulometría del agregado global en el concreto se debe a que por razones de economía, mayor resistencia y mayor estabilidad volumétrica, pues conviene que los agregados ocupen la mayor masa del concreto, compatible con la trabajabilidad. Esto se logra tratando que la mezcla de agregados sea lo más compacta posible, es decir, que la cantidad de huecos dejada por los agregados sea la mínima; esto se logra con la máxima "compacidad".

Cuadro 1.3

TAMIZ		% en peso que pasa
(mm)	(pulg)	TN 1" (25mm)
50	2"	
37.5	1 1/2"	
25	1"	100
19	3/4"	80 - 88
12.5	1/2"	63 - 75
9.5	3/8"	55 - 71
4.8	N° 4	40 - 59
2.4	N° 8	28 - 46
1.2	N° 16	18 - 35
0.6	N° 30	12 - 25
0.3	N° 50	7 - 15
0.2	N° 100	3 - 8

Cuadro 1.4

TAMAÑO MAXIMO = 16MM

MALLA (mm)	FRACCIÓN QUE PASA		
	A	B	C
16.00	100	100	100
8.00	60	76	88
4.00	36	56	74
2.00	21	42	62
1.00	12	32	49
0.50			
0.25	3	8	18

MODULO DE FINURA (M.F.)

El módulo de finura es un número adimensional que representa el tamaño promedio ponderado de las partículas del agregado, se utiliza para controlar la uniformidad de los agregados, además de servir como medida del valor lubricante de un agregado, ya que cuanto mayor es su valor menor será su valor lubricante y la demanda de agua por área superficial.

La norma establece en el caso del agregado fino (arena) debe tener un módulo de finura entre 2.35 – 3.15 ó 3.20 (se estima que las arenas comprendidas entre 2.2 – 2.8, producen concretos de buena trabajabilidad y reduce la segregación y los que se encuentran entre 2.8 – 3.2 son los más favorables para los concretos de alta resistencia.

El módulo de finura se obtiene a través de la suma de los porcentajes retenidos acumulados de los tamices 3", 1 1/2", 3/4", 3/8" N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100; dividida entre 100.

$$M.F. = \frac{\%Ra_{3"} + \%Ra_{1\ 1/2"} + \%Ra_{3/4"} + \%Ra_{3/8"} + \%Ra_{N^{\circ}4} + \%Ra_{N^{\circ}8} + \%Ra_{N^{\circ}16} + \%Ra_{N^{\circ}30} + \%Ra_{N^{\circ}50} + \%Ra_{N^{\circ}100}}{100}$$

Donde :

%Ra : Porcentaje retenido acumulado

SUPERFICIE ESPECIFICA

La superficie específica de una partícula representa el área superficial de la misma. Se expresa como área por unidad de masa (cm^2 / gr). Cuanto mayor es la superficie mayor es el área superficial a ser cubierta con pasta y menor el diámetro de las partículas.



Para obtener la superficie específica se divide, para cada uno de los tamices, el valor del porcentaje entre el valor del diámetro medio. La superficie específica del conjunto se determina por la siguiente fórmula:

$$\text{Superficie Específica} = \frac{6 \times D}{10 \times \text{PE}}$$

Donde:

- D = Sumatoria de valores obtenidos de dividir el porcentaje retenido en cada tamiz entre el valor del diámetro medio (mm)
- PE = Peso Específico de la masa del agregado

MATERIAL QUE PASA LA MALLA N° 200

Representa la cantidad de material fino cuyo tamaño es menor a la abertura del tamiz N° 200, se puede presentar en el agregado, en forma de revestimiento superficial o en forma de partículas sueltas.

El material fino, estaría constituido por arcilla y limo el cual se presenta recubriendo el agregado grueso o mezclado con la arena, en el primer caso afecta la adherencia del agregado y la pasta, mientras que en el segundo caso incrementaría los requerimientos de agua.

Las normas establecen los límites para la presencia del material que pasa la malla N°200:

Agregado Fino

- Concretos sujetos a abrasión < 3%
- Otros concretos < 5%

Agregado Grueso

- En general < 1%

El ensayo consiste en lavar una muestra de agregado fino y pasar el agua de lavado a través del tamiz N° 200. La pérdida de masa resultante del lavado se calcula como porcentaje de la masa de la muestra original y es expresada como la cantidad de material que pasa el tamiz.



A continuación se presenta el cuadro resumen de las propiedades del agregado fino y grueso

AGREGADO FINO

PROPIEDAD	Valor	Und
Peso Unitario Suelto	1.70	gr/cm3
Peso Unitario Compactado	1.87	gr/cm3
Peso Especifico de masa	2.59	gr/cm3
P. Especifico de masa superf. Seco	2.61	gr/cm3
P. Especifico aparente	2.70	gr/cm3
% Absorción	0.77	%
Contenido de Humedad	2.18	%
% que pasa la malla N°200	5.53	%
Modulo de Finura	3.31	
Superficie Especifica	41.47	gr/cm2

AGREGADO GRUESO

PROPIEDAD	Valor	Und
Peso Unitario Suelto	1.48	gr/cm3
Peso Unitario Compactado	1.68	gr/cm3
Peso Especifico de masa	2.76	gr/cm3
P. Especifico de masa superf. Seco	2.78	gr/cm3
P. Especifico aparente	2.80	gr/cm3
% Absorción	0.56	%
Contenido de Humedad	0.28	%
Modulo de Finura	7.42	
Superficie Especifica	0.86	gr/cm2
Diámetro nominal máximo	1"	pulg



2.2. CEMENTO

Se define como cemento a los materiales pulverizados que tienen la propiedad que por adición de una cantidad de agua, forman una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo agua como al aire.

El cemento Portland es un aglomerante hidráulico obtenido de la pulverización del clinker Portland con un poco de yeso. En el Perú existe una variedad de cementos desde los cementos Portland comunes hasta los cementos Portland adicionados, los cuales proporcionan adecuados niveles de resistencia y durabilidad en las obras.

El cemento Portland normal deberá cumplir con los requisitos indicados en la Norma ASTM C 150 para los tipos I, II y V, que se fabrican en el Perú, se emplearan los requisitos de la norma peruana (NTP)

En la presente investigación se utilizó el cemento Portland Tipo I, de la Planta de CEMENTOS LIMA S.A., a continuación se presentan sus características principales:

Cemento Portland Tipo I

Norma ASTM C – 150 – NTP 334.009

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I

NORMA TÉCNICA	:	ASTM C – 150 NTP 334.009
MARCA COMERCIAL	:	SOL
PRESENTACIÓN	:	BOLSAS DE 42.5 Kg.

ANÁLISIS QUÍMICO TÍPICO		ENSAYOS FÍSICOS TÍPICOS	
SiO ₂	20.11	FINEZA RETENIDA	
Al ₂ O ₃	6.08	Malla + 100 (150 micras)	0.13%
Fe ₂ O ₃	2.9	Malla + 200 (75 micras)	1.00%
CaO	62.94	Malla + 325 (45 micras)	8.15%
MgO	3.04		
SO ₃	2.67	SUPERFICIE ESPECIFICA	
K ₂ O	0.95	Blaine (cm ² /gr)	3321
Na ₂ O	0.28	CONTENIDO DE AIRE	9.03%
P.I	0.76	EXP. AUTOCLAVE	0.18%
TOTAL	99.71	PESO ESPECIFICO	(gr/cm ³) 3.15
CaO	0.34	FRAGUADO	
Alcalis Total (Na ₂ O Equiv.)	0.9	VICAT INICIAL	2h 14min
R. Insoluble	0.67	VICAT FINAL	3h 50min



2.3. ADITIVO

Los aditivos son aquellos productos que agregados en pequeña proporción en la pasta, morteros y concreto en el momento de su elaboración, mejoran o modifican una o varias de sus propiedades. Aún cuando los aditivos son un componente eventual del concreto, existen ciertas condiciones o tipos de obras en las que son indispensables.

La norma ASTM y las recomendaciones del ACI clasifican a los distintos tipos de aditivos

La norma ASTM C494 los clasifica como:

- TIPO A : Reductor de agua
- TIPO B : Retardador de fraguado
- TIPO C : Acelerantes
- TIPO D : Reductor de agua y retardadores de fragua
- TIPO E : Reductor de agua acelerantes
- TIPO F : Reductor de agua de alto efecto o super reductores de agua
- TIPO G : Reductor de agua de alto efecto y retardador

El ACI 212 recomienda agrupar a los aditivos de la siguiente manera:

- Acelerantes
- Incorporadores de Aire
- Reductores de Agua y reguladores de fragua
- Aditivos minerales
- Generadores de gas
- Aditivos para inyecciones
- Productores de expansión
- Ligantes
- Ayudas para bombeo
- Colorantes
- Floculantes
- Funguicidas, insecticidas y germicidas
- Impermeabilizantes
- Reductores de permeabilidad
- Controladores de la reacción álcali – agregado
- Inhibidores de la corrosión
- Superplastificantes

En la presente investigación se utiliza el aditivo superplastificante o reductor de agua de alto rango Sika Viscocrete 20HE, proporcionado por la empresa Sika Perú S.A., este aditivo esta compuesto a base de Policarboxilato modificado. Este tipo de aditivo se caracteriza por desarrollar en el concreto altas resistencias iniciales y una excelente trabajabilidad, a continuación se presentan sus principales características:

- Aspecto : Líquido
- Color : Café claro
- Densidad : 1,08 kg/l

Los aditivos de alto rango nos permiten evitar el uso de un porcentaje significativo de agua en los diseños normales de concreto, por tanto nos permite obtener relaciones a/c adecuadas a las exigencias del concreto de alto desempeño y además gracias a su efecto plastificante permite una mayor homogeneización de la mezcla.



1.4. EL AGUA DE AMASADO Y JO CURADO

Se entiende por agua de amasado la cantidad de agua total contenida en el concreto fresco. Esta cantidad es utilizada para el cálculo de la relación agua/cemento (A/C).

El agua de amasado está compuesta por :

- El agua agregada a la mezcla.
- Humedad superficial de los agregados
- Una cantidad de agua proveniente de los aditivos.

El agua de amasado cumple una doble función en la tecnología del concreto: por un lado permite la hidratación del cemento y por el otro es indispensable para asegurar la trabajabilidad y la buena compactación del concreto. Es por ello indispensable conocer su calidad y procedencia a fin de evitar efectos negativos en el concreto por la presencia de sustancias nocivas más allá de los límites permisibles establecidos por la norma peruana NTP 339.088

Sólidos en suspensión	500 ppm max.
Materia Orgánica	3 ppm max.
Alcalinidad NaHCO_3	1000 ppm max.
Sulfatos Ion SO_4	600 ppm max.
Cloruros Ion CL	1000 ppm max.
PH	5 - 8

En general los mismos requisitos que exigen para el agua de mezcla deben ser cumplidos por el agua de curado, además por otro lado en las obras es usual emplear la misma fuente de suministro de agua tanto para la preparación como para el curado del concreto.

El agua utilizada en la presente tesis es el agua potable el cual es utilizado en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la UNI (LEM)

Capitulo II :

Curado



2.1 Definición.

Se define como curado a aquel conjunto de procedimientos empleados para promover la hidratación del cemento y el desarrollo de la resistencia del concreto, siendo dichos procedimientos el control de la temperatura y los movimientos de humedad desde y hacia el concreto, ya que son estos procesos los que afectan a la resistencia y durabilidad del concreto.

"Los procesos de curado procuran mantener el concreto lo más saturado, de manera que el espacio ocupado inicialmente por agua, se llene con los productos de hidratación del cemento. En efecto el cemento para hidratarse requiere de capilares llenos de agua, parte de la cual se utiliza en la formación de los nuevos productos".⁽²⁾

En resumen, el curado se refiere a dos aspectos: mantener al concreto en una condición que permita una hidratación continua y otro se refiere a los procedimientos usados en obra de tal manera que se asegure que las condiciones de resistencia sean alcanzadas.

El curado es importante desde un punto de vista económico porque, mantener un adecuado método de curado, generalmente es costoso, ya que de acuerdo a las investigaciones realizadas, no es necesario un curado más allá del tiempo establecido, pues se estaría estableciendo las propiedades requeridas.

2.2 Requisitos de un buen curado.

- (1) *Adecuado contenido de humedad*, un adecuado curado involucra mantener un apropiado contenido de humedad en la pasta. Esto puede ser llevado a cabo usando diferentes métodos de curado o la combinación de varios métodos. Todos estos métodos implican, sin embargo dos conceptos: que la superficie del concreto se mantenga húmeda a través del suministro de agua exterior (curado húmedo) o la pérdida de humedad sea mínima, de tal manera que sea controlada por el uso de cubiertas impermeables, membranas o el uso de compuestos químicos.
- (2) *Mantener una adecuada temperatura en el concreto*, de las investigaciones realizadas, se indicó que la temperatura ideal es la temperatura promedio en la cual el concreto va estar expuesto durante toda su vida. Además es necesario proteger el concreto de las temperaturas muy bajas y altas pues estas afectan la velocidad de hidratación y por lo tanto el desarrollo de la resistencia. El control de la temperatura es un asunto difícil pues existen tres formas de calor: el medio ambiente, absorción del calor solar y el calor generado por las reacciones de hidratación.
- (3) *Adecuada protección del elemento estructural, durante el período inicial de curado*, se refiere a la protección de la nueva estructura de concreto de cualquier tipo de alteración mecánica como:
 - Esfuerzos originados por cargas, impacto, excesiva vibración.
 - Ondas de impacto ocasionados por explosiones o cargas de objetos pesados sobre el encofrado de la estructura.
 - Acción de lluvias
 - Cualquier tipo de accidente, que provoque una alteración física

⁽²⁾ *Cemento – Boletines Técnico – ASOCEM*



- (4) *Suficiente tiempo de curado*, dependerá del tipo de cemento utilizado, ya que para cementos tipo I, II y V (clasificación ASTM C150), indica que el concreto fabricado con este tipo de cemento deberá mantenerse sobre los 10°C en condición húmeda por 7 días después de colocado, mientras que para los cementos adicionados como el Tipo 1P ó 1PM (ASTM C525), deberá ser curado por 10 días. En concretos con aditivos acelerantes el periodo mínimo de curado es 3 días. (referencia 6)

2.3 Método de Curado

Existen varios tipos de curado que permiten mantener cierto nivel de humedad en el concreto, que a continuación detallaremos:

2.3.1 Curado con Agua.

Para este método de curado existen varios procedimientos.

- Por inundación ó inmersión, es aquel que produce los mejores resultados, por lo tanto el más eficiente, la desventaja de este método es que solo es aplicable a determinadas estructuras, por ejemplo: pavimentos, losas, etc.
- Por el uso de rociadores de agua, se utiliza en estructuras verticales, siendo un método eficiente siempre que se mantenga un curado continuo.
- Utilización de coberturas húmeda, son los tejidos como el yute, el cual se utiliza humedecido para cubrir al concreto, además tiene una alta capacidad para retener el agua, se utiliza tanto en superficies verticales como horizontales. Este método presenta un inconveniente, necesita ser humedecido periódicamente, con el riesgo de que si no se mantiene un nivel de humedad el curado sería deficiente.
- Curado con arena, tierra o aserrín, son utilizado en el curado de elementos horizontales, exigiendo el control de la desecación para su riego oportuno. Materiales como el aserrín tiene el inconveniente de manchar el concreto.

2.3.2 Curado con materiales sellantes

Este procedimiento de curado consiste en aplicar materiales sellantes sobre el concreto, con el fin de evitar su desecación. Este procedimiento tiene la desventaja de no aportar agua, como ocurre con el método de curado húmedo, pero por lo contrario no requiere de atención permanente. Los procedimientos más conocidos son:

- Películas de plástico, son láminas de plástico muy delgadas y que además se comercializan en hojas transparentes, siendo blancas para un curado en clima cálido y negras para un curado en climas fríos. Su aplicación debe ser tal que cubra todas las caras expuestas del elemento a ser curado.
- Papel impermeable, su uso es similar a las películas plásticas, además son reutilizables, siempre que mantengan su capacidad de retener agua, cuando se cura con el papel es necesario utilizar otros materiales pesados (arena, tablas, etc.), para evitar que el viento lo desplace.
- Compuestos Líquidos de curado, son aquellos como : cera, resinas, caucho clorado, que se aplican con disolventes altamente volátiles, convirtiéndose rápidamente en una membrana protectora del concreto, además de cumplir con la norma ASTM C309-81.

Dichos compuestos deben estar diseñados de tal manera que formen un sello poco tiempo después de haber sido aplicados, además de no reaccionar con la pasta de cemento. Normalmente a estos compuestos se les adiciona un pigmento (blanco, gris, rojo, etc.), con el fin de provocar la reflexión de los rayos solares



Estos compuestos se aplican con dispositivo atomizador manual o rociadores mecánicos, siendo más indicado este último para grandes superficies, por la distribución uniforme y mayor productividad.

2.3.3 Curado a vapor

El curado a vapor es utilizado cuando se requiere una resistencia inicial en el concreto, o cuando se requiere de un calor adicional para completar la hidratación, como para concretos en climas fríos.

Actualmente existen dos métodos de curado a vapor para ganar resistencia inicial en el concreto:

- a. Curado a vapor a la presión atmosférica, el cual se utiliza en estructuras vaciadas en sitio o para la fabricación de unidades de concreto prefabricado. Este tipo de curado se realiza en una cámara de vapor u otro cerramiento, con el fin de minimizar las pérdidas de calor y humedad. Frecuentemente se utilizan lonas para formar los cerramientos.
- b. Curado a vapor en autoclave, es aquel método de curado que se realiza a altas temperaturas pero solo para las unidades prefabricadas de concreto pequeñas.

Un ciclo de curado a vapor consiste en:

- (1) Una demora inicial previa al vapor
- (2) Un período de incremento de temperatura
- (3) Un periodo de mantenimiento de la temperatura máxima constante
- (4) Un periodo de decrecimiento de temperatura

Para la presente investigación se utilizó tres métodos de curado:

- Tipo A : Curado Patrón o Curado Húmedo - sumergido en agua.
- Tipo B : Curado al ambiente, expuesto a un ambiente cubierto.
- Tipo C : Curado Químico, en la que se aplicó una capa de curador químico.

El curador químico "Antisol" fue proporcionado por la empresa Sika Perú S.A., esta es una emulsión líquida que cuando se aplica sobre el concreto desarrollando una película impermeable y sellante, protegiendo al concreto de una evaporación demasiado rápida debido a la acción del sol y el viento. En las probetas de concreto endurecido se aplicó una capa del curador químico.

A continuación se presentan sus principales características:

- Aspecto : Líquido
- Color : Incoloro
- Densidad : 1.10 kg/l

Capitulo III:

Diseño de Mezclas



El diseño de una mezcla es un proceso que consiste de:

- La selección de los constituyentes del concreto.
- Determinación de las cantidades de los materiales a utilizar, de manera que sean lo más económico posible, a fin de obtener un concreto con características apropiadas, tanto en estado fresco como endurecido.

La mayoría de los métodos de diseño de mezcla están dirigidos a la obtención de cierta resistencia a la compresión con una consistencia determinada. Por lo tanto, si esto se logra con éxito y el concreto está bien especificado entonces, las otras propiedades también serán satisfactorias.

3.1. DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO PATRÓN

El diseño de mezcla a utilizar será aquel que a través de una dosificación óptima, cumpla con las siguientes condiciones: economía, trabajabilidad, resistencia y durabilidad. Para la presente tesis, se tuvo como referencia:

1. El Criterio de Máxima Compacidad, o mejor acomodo de los agregados en el concreto, el cual consiste en obtener la Óptima Proporción de Agregados con el Máximo Peso Unitario Compactado, pues con esta combinación se logra obtener la menor cantidad de vacíos, por tanto se necesitará menos cantidad de pasta de cemento, esta condición garantiza la economía en el concreto, más no así las propiedades de resistencia y durabilidad. El máximo peso unitario compactado se obtiene realizando mezclas de agregado fino y grueso con porcentajes diferentes en peso.
2. Método de Diseño de Concreto del ACI, en la que se utilizó algunos parámetros recomendados, tales como: Contenido de aire y cantidad de agua inicial.

En la presente tesis se ha realizado el diseño de mezcla del concreto patrón con relación agua/cemento (a/c) en peso de: 0.45 y con asentamiento de 3" - 4", la cual se detalla a continuación:

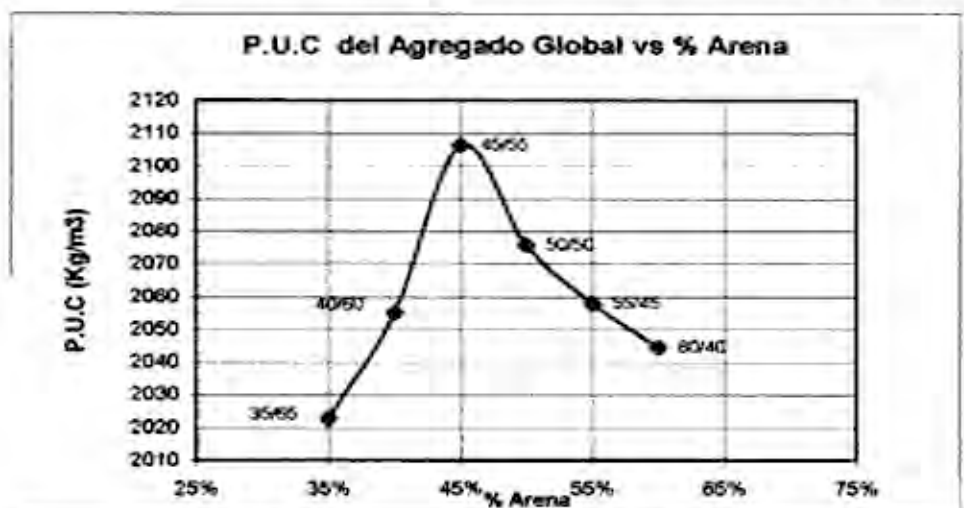
- a) La selección de la mejor combinación de agregado fino y grueso que produzca la mejor compacidad.

El parámetro que definirá la mejor combinación será el Máximo Peso Unitario Compactado (M.P.U.C), el cual se obtiene con distintas combinaciones en peso de los agregados con variaciones de 5% tomándose de esta manera seis muestras. (ver gráfico 3.1)

Cuadro 3.1

Proporción de Agregados		P.U.C.
A (%)	P (%)	kg/cm ³
35	65	2022.72
40	60	2054.96
45	55	2106.38
50	50	2075.70
55	45	2057.95
60	40	2044.45

Gráfico 3.1





Siendo la proporción de agregados con el Máximo Peso Unitario Compactado:

$$\begin{array}{l} \text{Arena} = 45 \\ \text{Piedra} = 55 \end{array}$$

- b) Luego de hallado el M.P.U.C. con el cual se asegura la condición de economía, ahora tomando en cuenta la resistencia, se procederá a diseñar variando los porcentajes de agregados con pasos de 3% , para los cuales se encontrará la cantidad necesaria de agua para lograr un asentamiento de 3" – 4". Para lograr dicho asentamiento se tendrá que variar la cantidad de agua, pero manteniendo constante la relación agua/cemento (a/c) en las diferentes proporciones de agregados.

Para la presente investigación la relación a/c utilizada fue 0.45 y las proporciones de agregados utilizadas fueron:

$$\begin{array}{l} A/P = 43/57 \\ A/P = 45/55 \\ A/P = 47/53 \end{array}$$

En cada una de las proporciones se halló la cantidad de agua necesaria para lograr un mismo asentamiento pero manteniendo la relación a/c constante. Siendo la cantidad de agua requerida de 237.5 l/m³.

- c) Luego se procederá a realizar tres probetas para cada relación de A/P, con la cantidad de agua encontrada (237.5 l/m³), siendo curadas por 7 días, para luego realizar el ensayo a compresión. , generándose de esta manera el cuadro 3.2 y el grafico 3.2

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Periodo de Curado humedo : 7 días

Cuadro 3.2

% Agregados		Identificación	Diámetro (cm)	Area (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resist. Prom. (kg/cm ²)	Periodo de Curado (días)
A P	43 57	1 -A	14.88	173.90	48800	280.62	283.57	7d
		1 -B	14.80	172.03	49400	287.15		
		1 -C	15.00	176.71	50000	282.94		
A P	45 55	2 -A	14.90	174.37	52200	299.37	306.33	7d
		2 -B	14.96	175.54	53600	305.35		
		2 -C	14.90	174.37	54800	314.28		
A P	47 53	3 -A	15.00	176.71	48800	276.15	281.85	7d
		3 -B	15.00	176.71	49200	278.42		
		3 -C	14.88	173.90	50600	290.97		

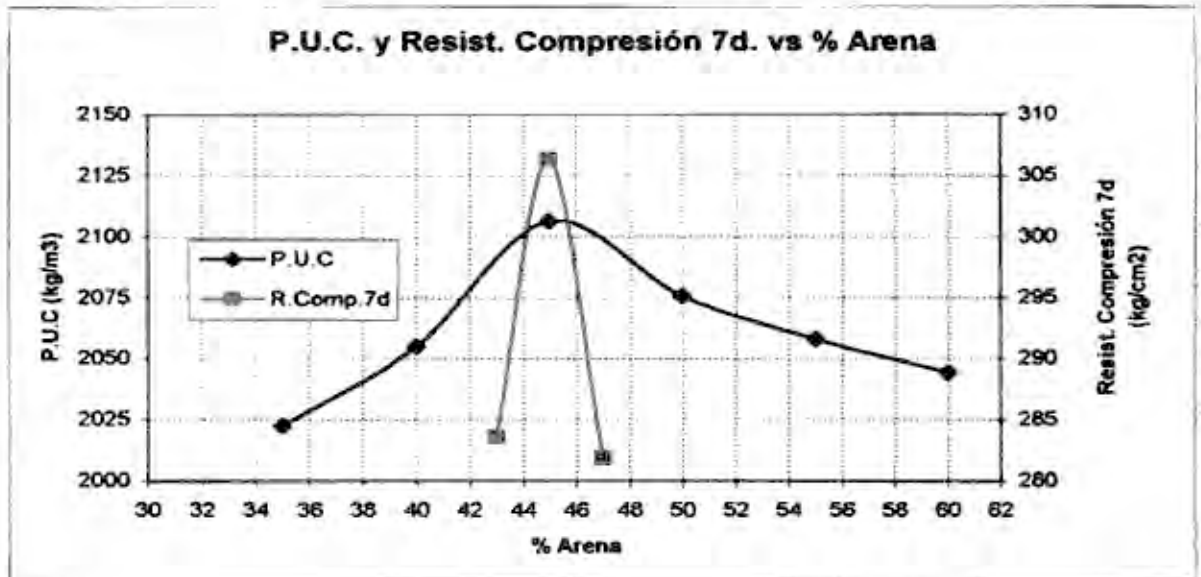
Gráfico 3.2





- d) Comparando la resistencia a compresión y el máximo peso unitario compactado se obtendrá la óptima relación de A/P , que en este caso es A/P =45/55 la cual se verifica en el gráfico3.3

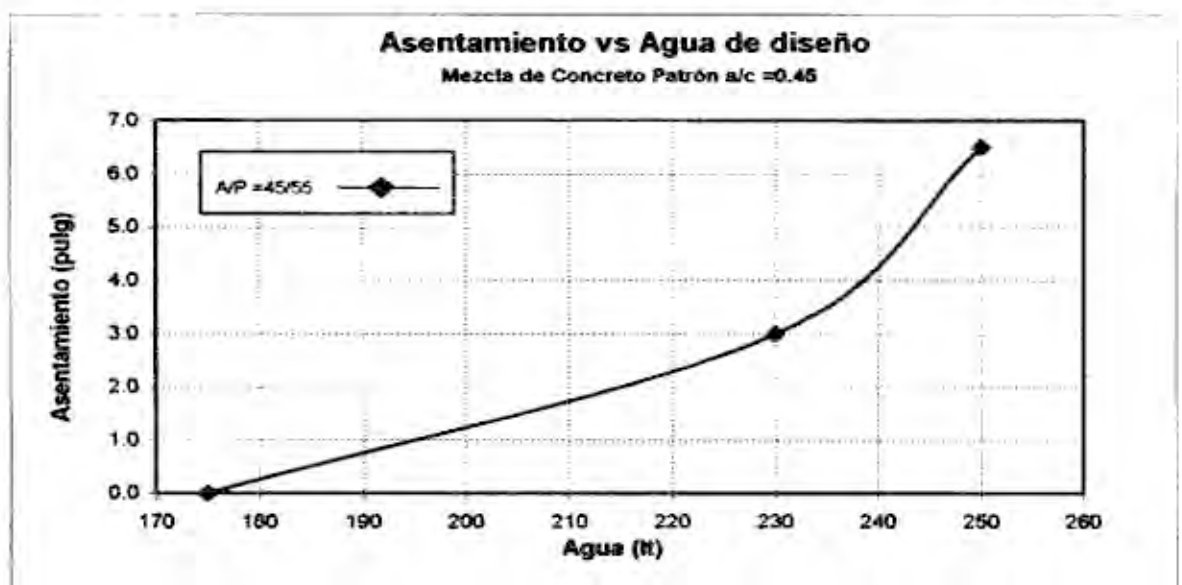
Gráfico 3.3



- e) Con la proporción A/P hallada se procede a calcular la cantidad de agua necesaria para las demás relaciones a/c, si este fuere el caso, en la presente tesis tenemos una sola relación a/c=0.45, donde las dosificaciones de las mezclas de prueba y las definitivas se encuentran en el anexo 2.

La grafica generada es :

Gráfico 3.4





f) Del gráfico 3.4. , obtenemos que para 1m³ de concreto se necesita .

Relación a/c	Agua de diseño (l/m ³)
0.45	237.5

Siendo su dosificación de materiales el siguiente:

DISEÑO DE MEZCLA P-45 (DEFINITIVO) a/c : 0.45 Agua (l) : 237.5	MATERIALES	DISEÑO SECO		
		Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m ³)	Diseño Unitario (kg)
	Cemento	527.78	0.168	1.00
	Agua	237.50	0.238	0.45
	Arena	701.09	0.270	1.33
	Piedra	856.88	0.310	1.62
	Aire Atrapado		0.015	
	Total	2323.25		

3.2 DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO CON ADITIVO

En esta sección, lo que se busca es obtener un concreto de alto desempeño el cual estará sometido a diferentes procesos de curado.

Estas mezclas de concreto de alto desempeño se obtendrán a partir del concreto patrón al cual se le adicionará un aditivo reductor de alto rango y superplastificante en tres dosificaciones 0.8, 1.4 y 2.0% del peso de cemento. El método a utilizar el mismo con el concreto patrón y con un asentamiento de 3" a 4" .

Dosificación con Aditivo 0.8% del peso de cemento

a.- Como primer paso se calculará la cantidad de aditivo que equivale por m³ de mezcla de concreto

$$\text{Densidad} = 1.080 \text{ kg/dm}^3.$$

$$V_{\text{aditivo}} = \frac{0.8 \% \times W_{\text{cemento}}}{1.080 \text{ kg/lt}}$$

$$W_{\text{cemento}} = 527.78 \text{ kg}$$

$$V_{\text{aditivo}} = 3.909 \text{ lt/m}^3$$

$$V_{\text{aditivo}} = 314.78 \text{ cm}^3 \text{ por bolsa de cemento}$$

b.- Luego mediante pruebas se determina la cantidad de reducción de agua para esta dosificación de aditivo, pero siempre buscando un concreto trabajable que tenga un asentamiento entre 3" – 4"

Realizando este proceso se halló:

Tipo de Mezcla	Cantidad de Agua
Concreto Patrón	237.50 lt
Concreto con Aditivo	185.21 lt



Obteniéndose : Reducción de Agua : 52.29 l/m³

Reducción de Agua (%) : 22.02%

c.- Con esta cantidad de agua se realizó el diseño de mezcla para el concreto con adición de 0.8% de aditivo, la cual se puede observar :

Diseño de Mezcla CA - 0.8%	Material	DISEÑO SECO	
		Volumen Absoluto (m ³)	Peso Seco (kg)
a/c inicial 0.45	Cemento	0.1827	575.362
Aditivo 0.80%	Agua	0.1852	185.208
Agua diseño (l) 237.50	Arena	0.2924	758.827
Agua usada (l) 185.20	Piedra	0.3354	927.654
	Aditivo	0.0043	4.697
	Aira Atrapado	1.5	
	Asentamiento		4"
	Reducción de Agua		52.30 l

El diseño de mezcla de las demás dosificaciones se halla en el anexo 2.

De todos estos resultados se puede resumir que:

Diseño de Mezcla Material	Patrón P-45	Con Aditivo		
		CA-0.8%	CA-1.4%	CA-2.0%
agua/cemento inicial		0.45		
aditivo % en peso	-	0.80%	1.40%	2.00%
Cemento (kg)	527.78	575.36	580.95	584.89
Agua (kg)	237.5	185.21	177.20	172.39
Arena (kg)	701.09	758.83	762.60	761.49
Piedra (kg)	858.88	927.65	932.30	933.49
Aditivo (kg)		4.70	8.05	11.89
Reducción de agua (l)		52.29	60.30	65.11
Reduc. de agua (%)		22.02	25.39	27.42
Vol. Aditivo (l)		4.35	7.45	11.01
agua/cemento final	0.45	0.32	0.31	0.29

Capitulo IV :

***Propiedades del
Concreto Fresco y
Endurecido***



En el presente capítulo se realiza una breve descripción de los ensayos utilizados para las diferentes mezclas que se realizaron a fin de analizar su comportamiento tanto en el estado fresco así como en el estado endurecido.

Los ensayos a los que fueron sometidas las mezclas de concreto fueron:

- En el Estado Fresco: Asentamiento, Peso Unitario, Contenido de Aire, Exudación, Fluides y Tiempo de fraguado.
- En el Estado Endurecido: Ensayo de Compresión, Tracción y Módulo de Elasticidad.

4.1 PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO FRESCO

4.1.1 Consistencia (ASTM C413, NTP 339.035)

La consistencia se define como la capacidad de la mezcla de mantenerse homogénea con una permanencia en un estado determinado en función del tiempo. Se mide mediante el Ensayo de Asentamiento o Slump, utilizando el Cono de Abrams. El ensayo consiste en compactar una muestra de concreto en un molde troncocónico, midiendo el asentamiento del pastón luego de desmoldado, la compactación se realiza en tres capas de igual volumen, con una varilla lisa metálica normada, aplicando 25 golpes por capa, distribuidos uniformemente.

La consistencia de una mezcla es función de su contenido de agua, de la granulometría y características del agregado, ya que de acuerdo a estas características se puede alcanzar una consistencia determinada.

Una de las aplicaciones del ensayo de asentamiento es en el diseño de mezclas, ya que este permite definir que mezclas son apropiadas para una determinada resistencia.

Por la consistencia los concretos pueden agruparse en:

Consistencia	Asentamiento
Rigidos	< 2"
Plásticos	2" - 4"
Blandos	4" - 6"
Fluidos	>6"

4.1.2 Peso Unitario (ASTM C 138, NTP339.048)

El peso unitario del concreto es la relación entre el peso compactado de una muestra de concreto y el volumen del recipiente que lo contiene.

Variaciones en las propiedades de los agregados pueden afectar el peso unitario, es por ello que los concretos se clasifican en:

- Concretos Livianos, son aquellos concretos preparados con agregados livianos cuyo peso unitario varía entre 400 – 1700 kg/m³.
- Concretos Normales, aquellos cuyo peso unitario varía entre 1700 – 2500 kg/m³.
- Concretos pesados, aquellos concretos cuyo peso unitario es mayor de 2500 kg/m³.

El ensayo de peso unitario consiste en compactar una muestra de concreto en un recipiente normado, el cual posteriormente se pesa, para luego dividir el peso entre el volumen del recipiente.



4.1.3 Contenido de Aire (ASTM C 138, NTP 339.046)

El contenido de aire es aquel que indica la cantidad de vacíos que tiene internamente el concreto en toda su masa. Además mientras más aire tenga internamente la resistencia a compresión del concreto disminuye.

Pero a veces su presencia es necesaria cuando se trata de climas con condiciones severas (temperaturas bajas) ya que el aire atrapado en ciertas condiciones favorece, sobre todo en casos en que el agua atrapada internamente aumenta su volumen debido al congelamiento.

Para la presente investigación se utilizó el método gravimétrico y el equipo de Washington para hallar el contenido de aire, en el primero utiliza los pesos unitarios reales (obtenido por ensayo) y teóricos (obtenido del diseño de mezcla) y por comparación de volúmenes se tiene el contenido de aire de la mezcla del concreto, mientras en el segundo método, consiste en aplicar al equipo una presión adecuada, y éste indica directamente el contenido de aire del concreto.

4.1.4 Exudación (ASTM C232, NTP 339.077)

La exudación es un tipo de segregación del concreto por el cual parte del agua del diseño de mezcla se separa de la masa y fluye desde el interior de la mezcla hacia a la superficie del concreto recién vaciado.

La exudación se produce inevitablemente en el concreto normal y en algunos casos disminuye o no existe exudación alguna cuando se utiliza aditivos reductores de agua.

Uno de los efectos negativos de la exudación en las mezclas de concreto son que una excesiva exudación da como resultado un concreto más poroso y débil debido a los vacíos dejados durante el proceso de flujo del agua, y como consecuencia de ello se produce un concreto menos resistente y durable. Por otra parte si la exudación es escasa y la tasa de evaporación del medio en el que se labora es mayor que la tasa de exudación, puede producirse un agrietamiento por contracción del concreto, debido a que la superficie de la mezcla es más seca.

La tendencia a la exudación depende del contenido de agua de la mezcla, la finura del cemento y la cantidad de finos en los agregados, por cuanto más finos exista y mayor sea el porcentaje del material menor que la malla N° 100 la exudación será menor, pues retiene el agua de mezcla.

El ensayo de exudación consiste en tomar una muestra de concreto fresco y colocarla en un recipiente de $1/2p^3$ de capacidad para luego con una jeringa o pipeta extraer la cantidad de agua exudada que se ha acumulado en la superficie, esto lo realizamos por intervalos de 10min. durante los primeros 40min, para luego realizar las extracciones cada 30min hasta que cese la exudación, con la cantidad de agua exudada en estos intervalos se calcula la tasa de exudación, mientras con el agua total exudada se calcula el porcentaje de agua exudada con respecto a la masa inicial del concreto.

4.1.5 Fluides (NTP 339.065)

La fluides es la resistencia que opone el concreto a experimentar deformaciones. Depende de la forma, gradación y tamaño del agregado en la mezcla.

Este ensayo responde principalmente a la variación del contenido de agua de la mezcla y sirve para indicar la consistencia y también la tendencia a la segregación, además de mostrarnos si las mezclas son rígidas y cohesivas.



La fluidez se determina por el aumento del diámetro que experimenta la base inferior de un tronco de cono de concreto fresco, sometido a sacudidas sucesivas y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\% F = \frac{(D_{\text{promedio}} - 25) \times 100}{25}$$

Donde:

- % F : Porcentaje de fluidez
- D : Diámetro promedio que alcanza el concreto luego de sometido a sacudidas sucesivas

4.1.6 Tiempo de Fraguado (ASTM C403, NTP339.082)

El Tiempo de Fraguado es la propiedad que representa el tiempo mediante el cual el concreto fresco va cambiando de su consistencia plástica y moldeable a una sólida e indeformable. Se ha definido dos parámetros que controlan estos cambios en el concreto.

- Tiempo de Fraguado Inicial (T.F.I), que se caracteriza por un aumento en la viscosidad y en la temperatura de la mezcla, así como la pérdida inicial de la plasticidad. El T.F.I. se obtiene cuando se necesita aplicar una presión de 500 lb/pulg² para conseguir una penetración de 1".
- Tiempo de Fraguado Final (T.F.F), es el tiempo en que la mezcla de concreto perdió totalmente su capacidad de deformación, se obtiene para una presión de 4000 lb/pulg² para conseguir una penetración de 1".

El Tiempo de fraguado es de vital importancia porque nos da a conocer del tiempo que se dispone en el proceso constructivo para las operaciones de colocación y acabado.

4.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO ENDURECIDO

4.2.1 Resistencia a la Compresión (ASTM C39, NTP 339.034)

La resistencia a compresión se define como el máximo esfuerzo que puede soportar el concreto sin agrietarse ni romperse, siendo su mejor comportamiento en compresión con respecto a la tracción. La resistencia es considerada como una de las más importantes propiedades del concreto endurecido, pues se emplea para su aceptación o rechazo del mismo.

La resistencia depende principalmente de la concentración de la pasta de cemento, que se acostumbra expresar en términos de la relación a/c en peso. A esta propiedad afectan los mismos factores que influyen en las características resistentes de la pasta, como son temperatura y el tiempo. Un factor indirecto, pero no por eso menos importante en la resistencia lo constituye el curado, ya que es el complemento del proceso de hidratación sin el cual no se llega a desarrollar completamente las características resistentes del concreto.

La Resistencia a compresión se determina mediante los ensayos de las probetas cilíndricas, las cuales han sido moldeadas y curadas de acuerdo a lo establecido en la norma y que son sometidas a compresión axial en las máquinas de compresión del laboratorio. El cálculo de la resistencia se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$F_c = \frac{4 P}{\pi D^2}$$

Donde:

- P : Carga de Rotura.
- D : Diámetro de la probeta.



4.2.2 Resistencia a la tracción por compresión diametral (ASTM C496, NTP 339.084)

La resistencia a tracción es una forma de comportamiento de gran interés para el diseño y control de calidad en todo tipo de obras y en especial en las estructuras hidráulicas y de pavimentación.

Este ensayo consiste en romper un cilindro de concreto del tipo normalizado para el ensayo de compresión entre los cabezales de una prensa según las generatrices opuestas. El esfuerzo de tracción por compresión diametral indirecta se calcula mediante:

$$F_c = \frac{2P}{\pi L D}$$

Donde:

- P : Carga de Rotura.
- D : Diámetro de la probeta.
- L : Longitud de la probeta.

4.2.3 Módulo de Elasticidad (ASTM C469)

También conocido como módulo de young, se define como la capacidad que tiene el concreto para que dentro de ciertos límites se deforme bajo carga sin tener una deformación permanente.

El módulo de elasticidad se utiliza para calcular las deformaciones en las estructuras. El módulo de elasticidad tiene las dimensiones de una tensión ya que la deformación unitaria es adimensional.

El concreto no es un material perfectamente elástico siendo por ello su gráfico esfuerzo – deformación una curva. Para determinar el módulo de elasticidad estático existen varios métodos, por ello para su cálculo se ha utilizado el método de la cuerda, los puntos que definen la cuerda para la determinación del módulo de elasticidad se definen así:

- El punto de la cuerda Esfuerzo – Deformación que corresponde a una deformación de 0.5×10^{-4} y su esfuerzo correspondiente
- El punto de la curva Esfuerzo – Deformación que corresponde al 40% de la resistencia a la compresión y su deformación correspondiente.

El módulo de elasticidad se obtiene empleando la siguiente fórmula:

$$E = \frac{E_2 - E_1}{D_2 - 0.5 \times 10^{-4}}$$

Donde:

- E : Módulo elástico estático (kg/cm²)
- E₂ : Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última o máxima
- E₁ : Esfuerzo correspondiente a una deformación de 0.5×10^{-4}
- D₂ : Deformación unitaria correspondiente al E₂

Capitulo V:

**Cuadro de Resultados
y Gráficas**



En el presente capítulo se muestran los cuadros resumen de los ensayos de concreto al estado fresco así como al estado endurecido.

Los ensayos se realizaron para una relación a/c = 0.45 (concreto patrón), con una relación de agregado A/P = 45/55, a partir de la mezcla patrón se generó los concretos de alto desempeño utilizando tres dosificaciones de aditivo Sika Viscocrete 20HE (0.8, 1.4 y 2.0% en peso de cemento) que equivalen a 321.25, 545.22 y 799.83 cm³ por bolsa de cemento

Las probetas que se realizaron fueron de 6" x 12" y 4" x 8" para el concreto patrón, mientras que para el concreto con aditivo se utilizó 4" x 8", posteriormente se calcularía el factor de extrapolación mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Factor de Extrapolación} = \frac{\text{Resistencia probeta } 6" \times 12"}{\text{Resistencia probeta } 4" \times 8"}$$

En el estado fresco la mezcla de concreto patrón y las mezclas de concreto con aditivo (concreto de alto desempeño) fueron sometidas a los ensayos de: asentamiento, peso unitario, contenido de aire, porcentaje de exudación, fluidez y tiempo de fraguado.

En el estado endurecido las probetas fueron sometidas a diferentes métodos de curado (curado húmedo, al ambiente y utilizando curador químico), con el fin de analizar la variación de la resistencia. En el caso del curado químico, el curador que se utilizó fue el Antisol, aplicándose solo una capa del curador sobre el concreto.

Las probetas fueron sometidas a los ensayos de: resistencia a la compresión, resistencia a la tracción por compresión diametral y módulo de elasticidad.

A continuación se presentan los resultados obtenidos:



5.1. CUADROS Y GRAFICOS COMPARATIVOS DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO

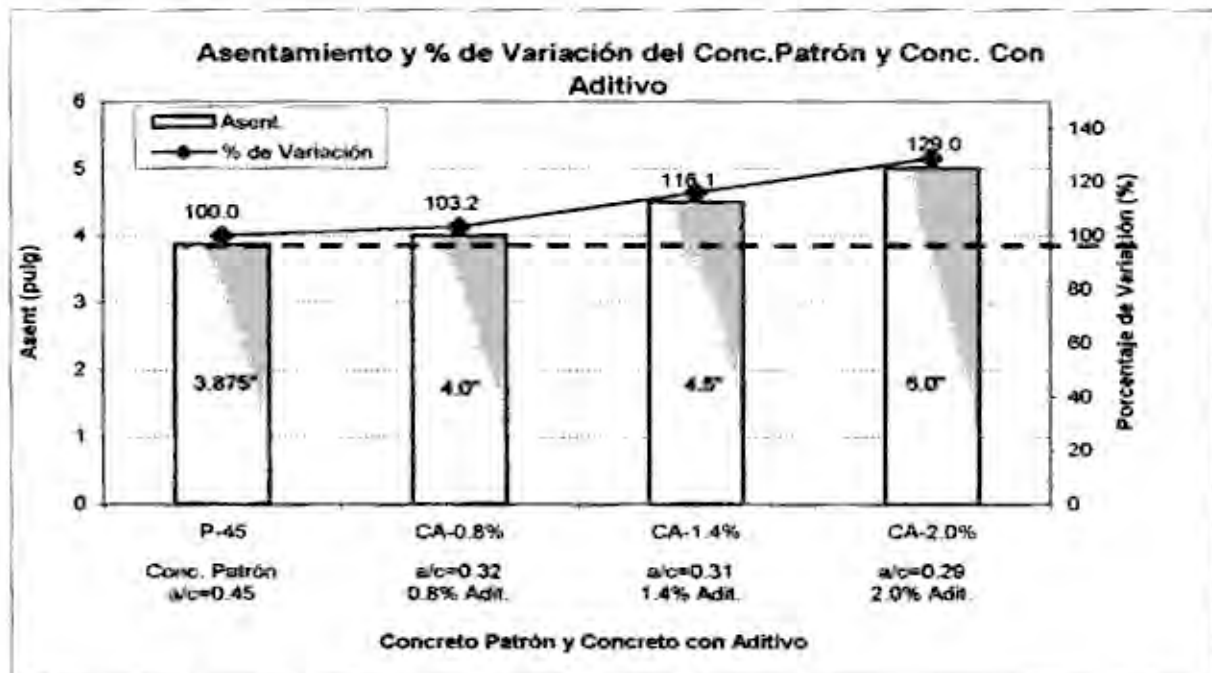
5.1.1 ENSAYO DE CONCRETO FRESCO

5.1.1.1 Asentamiento

Cuadro 5.1.1.1.a: Resumen del Ensayo de Consistencia en el concreto patrón (P-45) y concreto con aditivo (CA-0.8%, CA-1.4% y CA - 2.0%)

ENSAYO	Patrón	Patrón con aditivo		
	P-45	CA-0.8%	CA-1.4%	CA-2.0%
agua/cemento inicial	0.45			
Aditivo (%del peso de cemento)	-	0.80%	1.40%	2.00%
Asentamiento (pulg)	3 7/8"	4"	4.5"	5"
Variación con respecto al Concreto Patrón (%)	100.00	103.23	116.13	129.03
Agua de diseño (lit)	237.50	185.21	177.20	172.39
Reducción de agua (lit)	0.00	52.29	60.30	65.11
Vol. Aditivo (lit)	0.00	4.35	7.45	11.01
agua/cemento final	0.45	0.32	0.31	0.29

Gráfico 5.1.1.1.b: Asentamiento y Porcentaje de variación de las mezclas de concreto con respecto al concreto patrón



Nota:

- Las mezclas CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0% corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)



Gráfico 5.1.1.1.c: Asentamiento y Agua de diseño en el Concreto Patrón y Concreto con aditivo

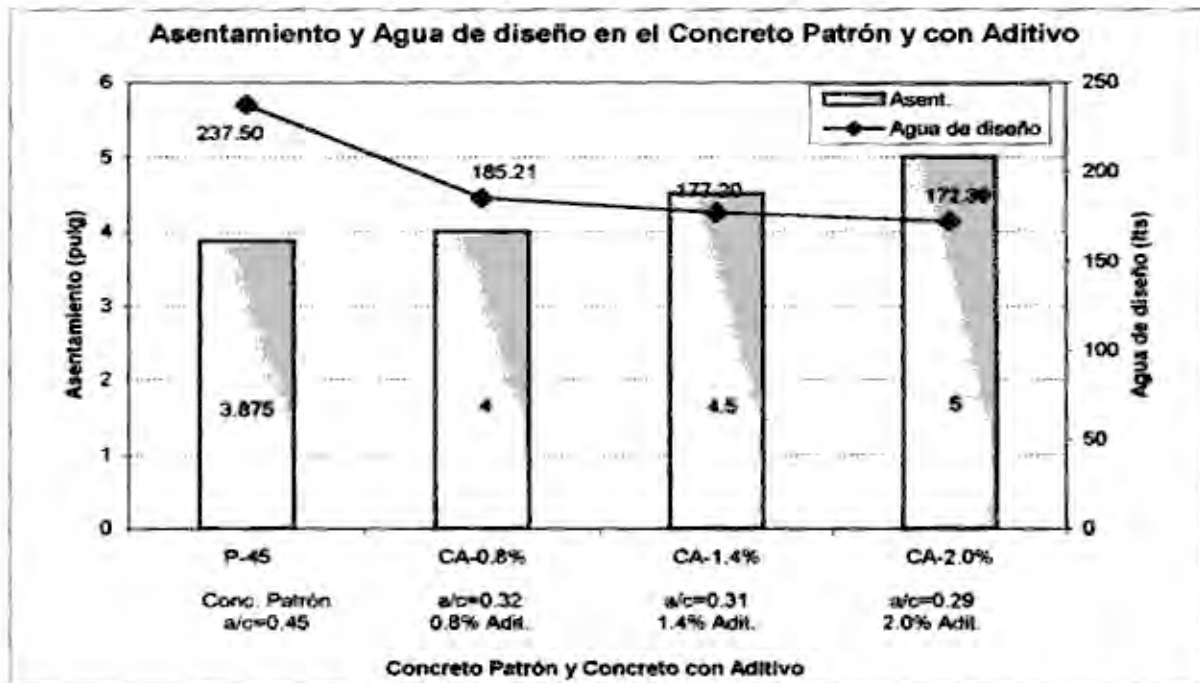
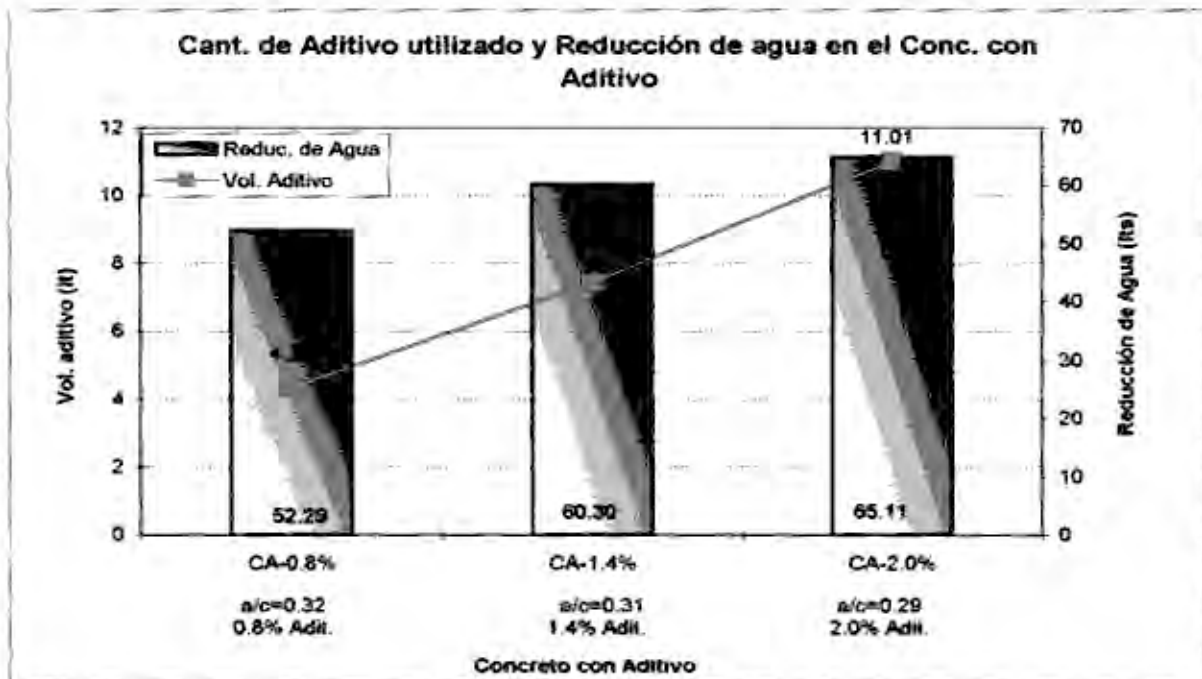


Gráfico 5.1.1.1.d: Cantidad de Aditivo utilizado y Reducción de Agua en el Concreto con Aditivo



Nota:

- Las mezclas CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0% corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)

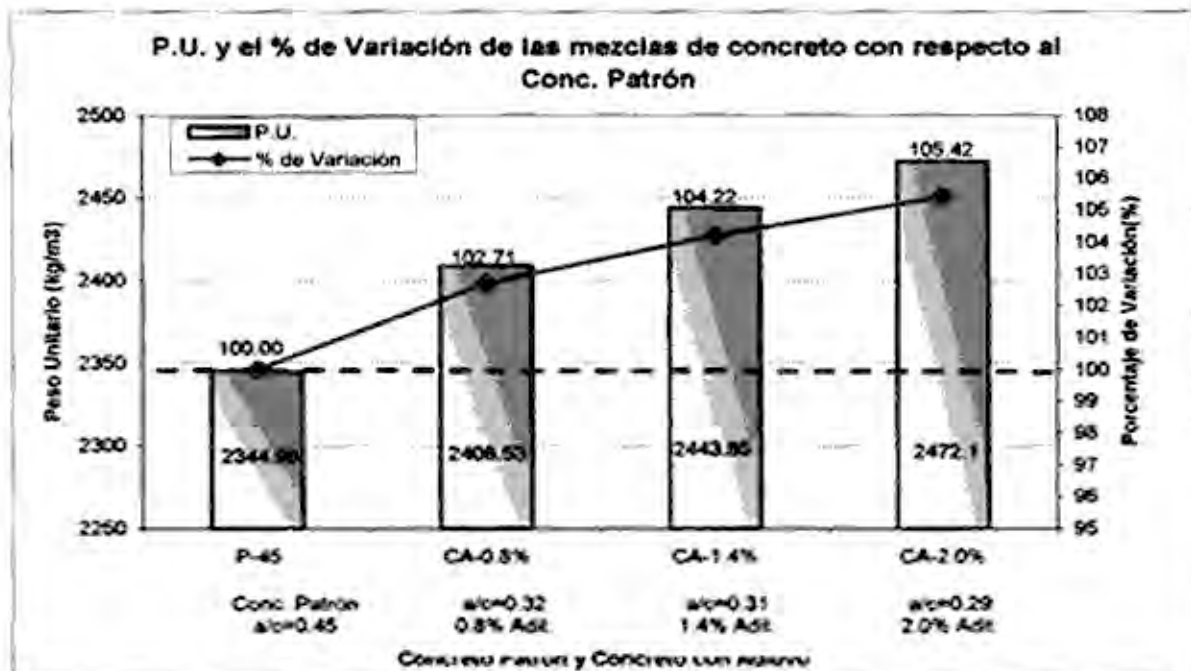


5.1.1.2. Peso Unitario y Contenido de Aire

Cuadro 5.1.1.2.a: Resumen de los ensayos de Peso Unitario y Contenido de Aire del Concreto

MEZCLA	PESO UNITARIO (kg/m ³)	Variación con respecto al Patrón (%)	CONTENIDO DE AIRE		Variación con respecto al Patrón (%)
			Gravimétrico	Washington	
Concreto Patrón					
P - 45	2344.96	100.0%	0.6	2.10	100.0%
Concreto con Aditivo					
CA - 0.8%	2408.53	102.7%	3.2	1.70	81.0%
CA - 1.4%	2443.85	104.2%	2.2	1.50	71.4%
CA - 2.0%	2472.10	105.4%	1.3	1.20	57.1%

Gráfico 5.1.1.2.b: Ensayo de Peso Unitario (P.U.) y el Porcentaje de variación de las mezclas de Concreto con respecto al Concreto Patrón.



Nota:

- Las mezclas CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0% corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)



Gráfico 5.1.1.2.c: Ensayo de Contenido de Aire y el Porcentaje de variación de las mezclas de concreto con respecto al Concreto Patrón

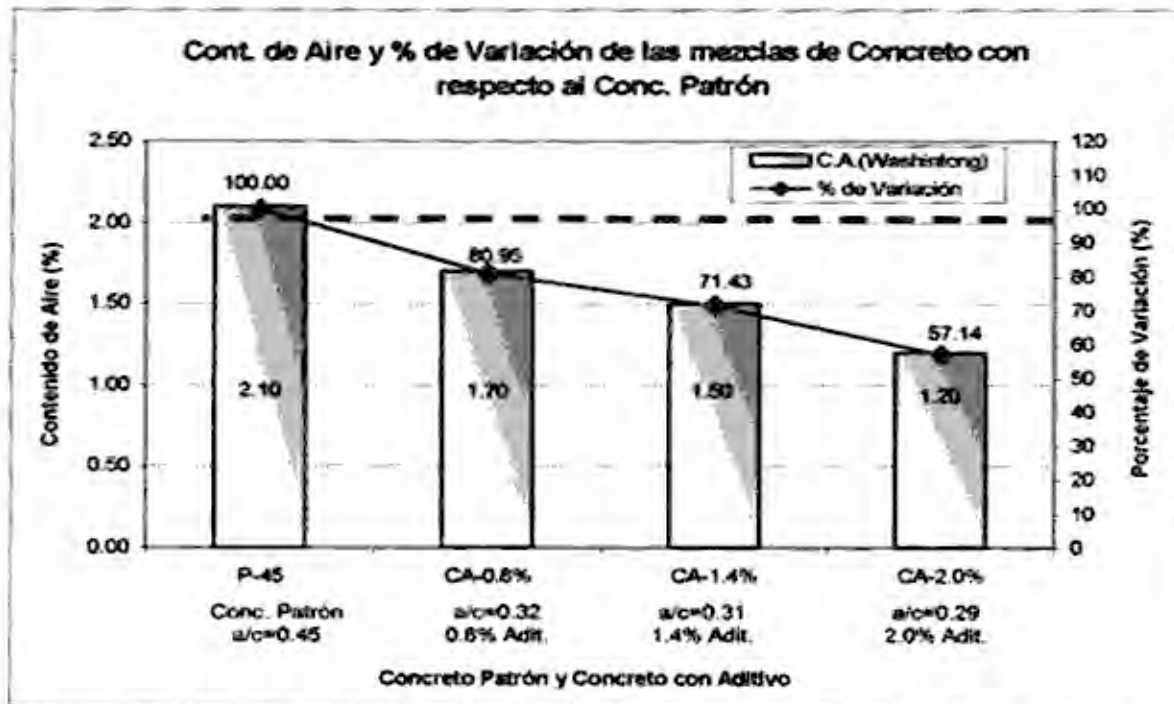
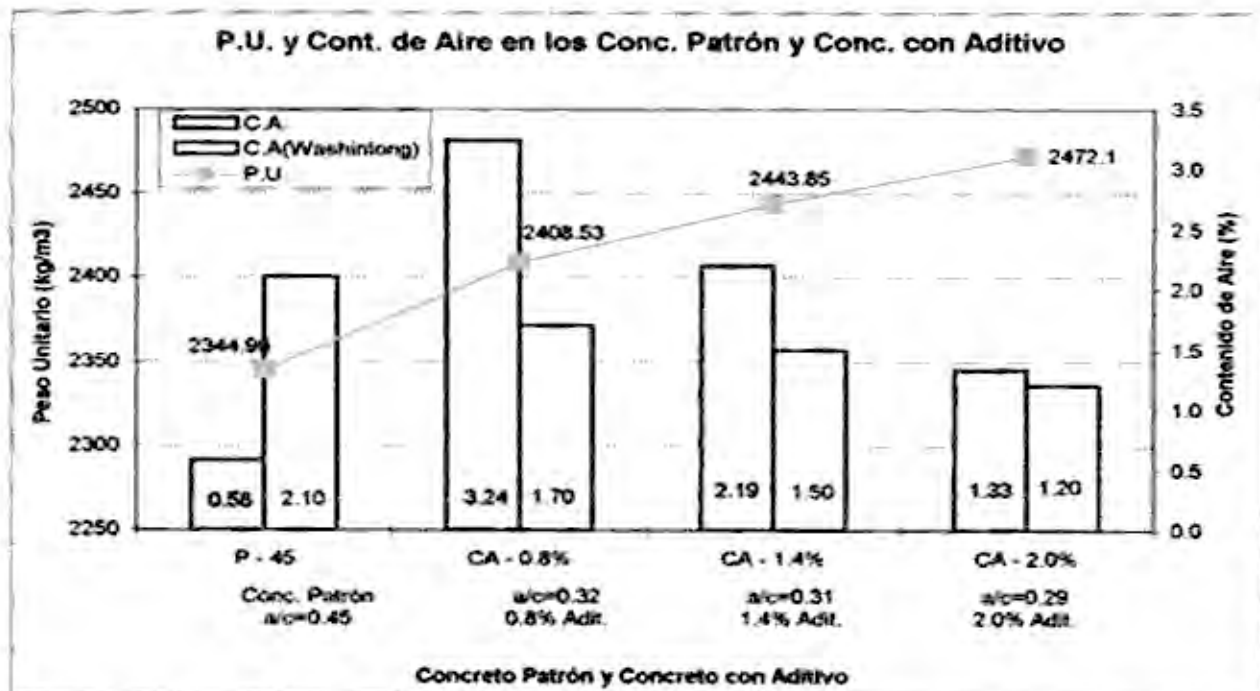


Gráfico 5.1.1.2.d: Peso unitario (P.U.) y Contenido de Aire en el Concreto Patrón y Concreto con Aditivo



Nota:

- Las mezclas CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0% corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)

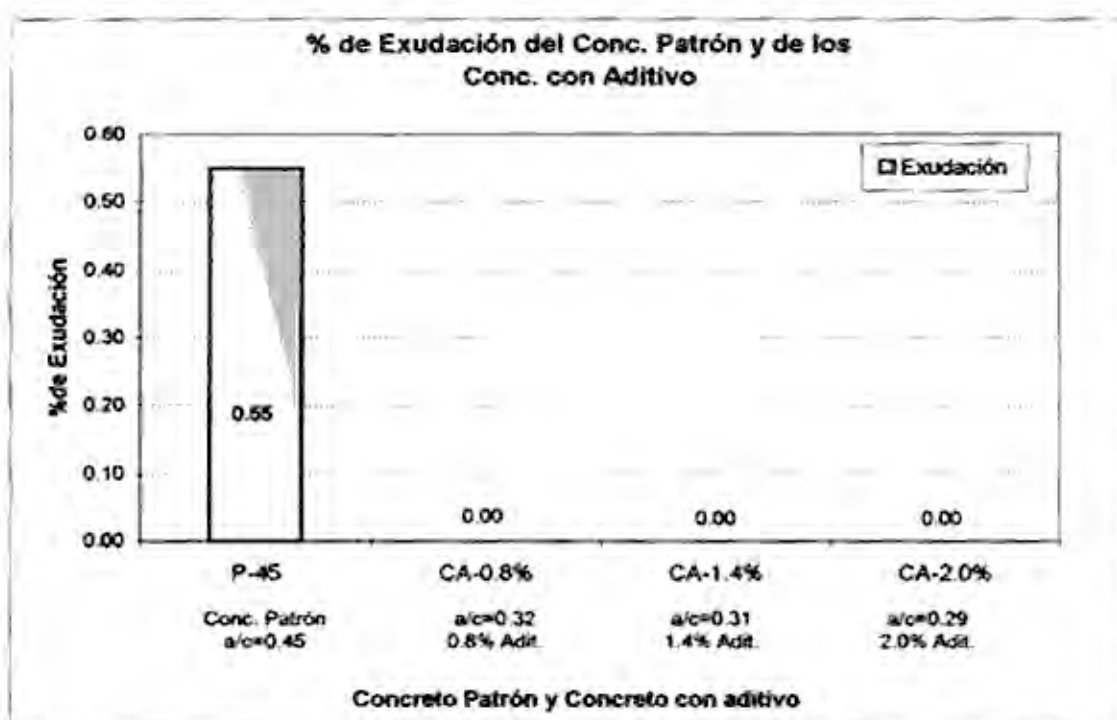


5.1.1.3. Exudación

Cuadro 5.1.1.3.a: Resumen del Ensayo de Exudación

MEZCLA	Exudación (%)	Porcentaje de Variación con respecto al Patrón
Concreto Patrón		
P - 45	0.55	100.0%
Concreto con Aditivo		
CA - 0.8%	0.00	0.0%
CA - 1.4%	0.00	0.0%
CA - 2.0%	0.00	0.0%

Gráfico 5.1.1.3.b: Ensayo de Exudación en el Concreto Patrón y Concreto con Aditivo



Nota:

- Las mezclas CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0% corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)

5.1.1.4 Fluidez

Cuadro 5.1.1.4.a: Resumen del Ensayo de Fluidez

MEZCLA	Fluidez (%)	Variación con respecto al patrón
Concreto Patrón		
P - 45	81.60	100.0%
Concreto con Aditivo		
CA - 0.8%	94.80	116.2%
CA - 1.4%	96.00	117.6%
CA - 2.0%	97.10	119.0%



Gráfico 5.1.1.4.b: Ensayo de Fluidéz y Porcentaje de Variación de las mezclas de concreto con respecto al concreto patrón

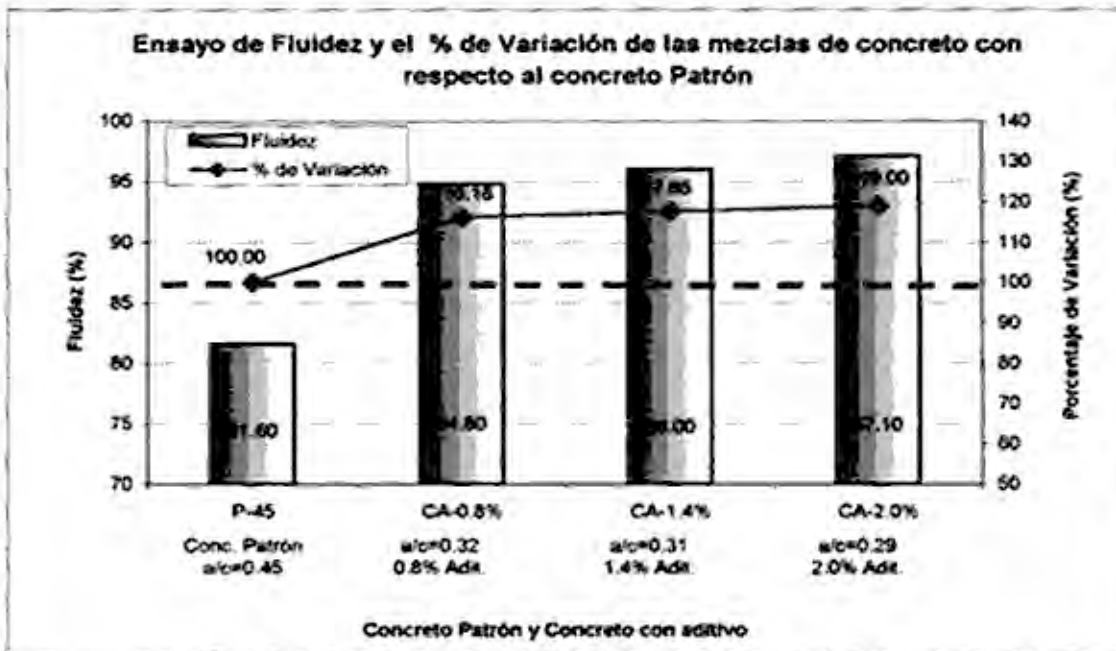
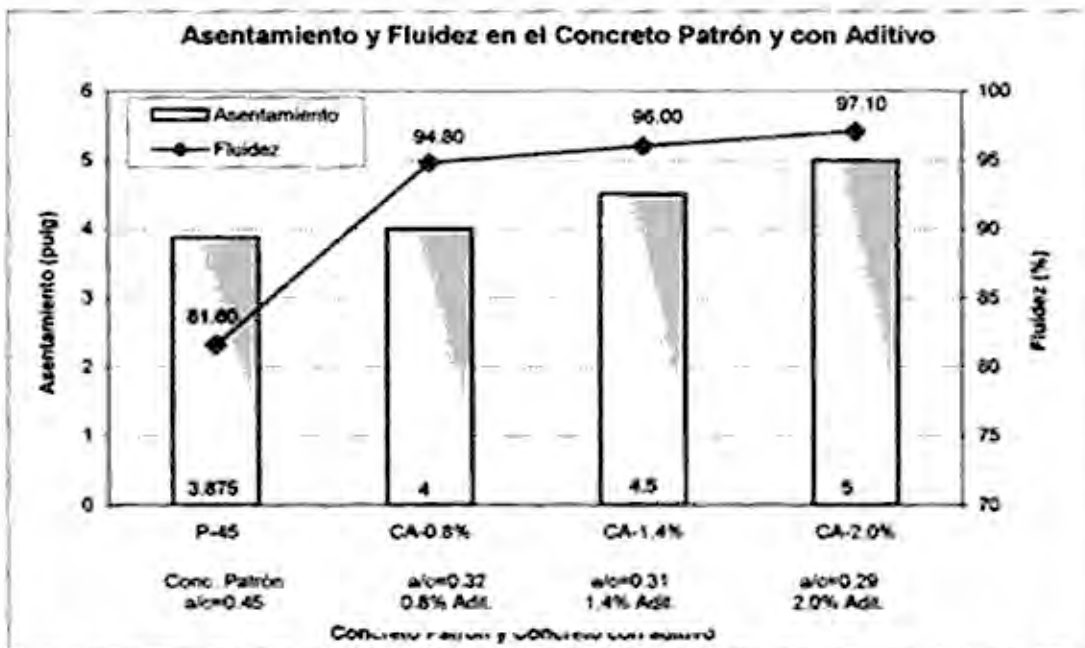


Gráfico 5.1.1.4.c: Asentamiento y Fluidéz en el Concreto con Aditivo



Nota:

- La mezclas CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0% corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)

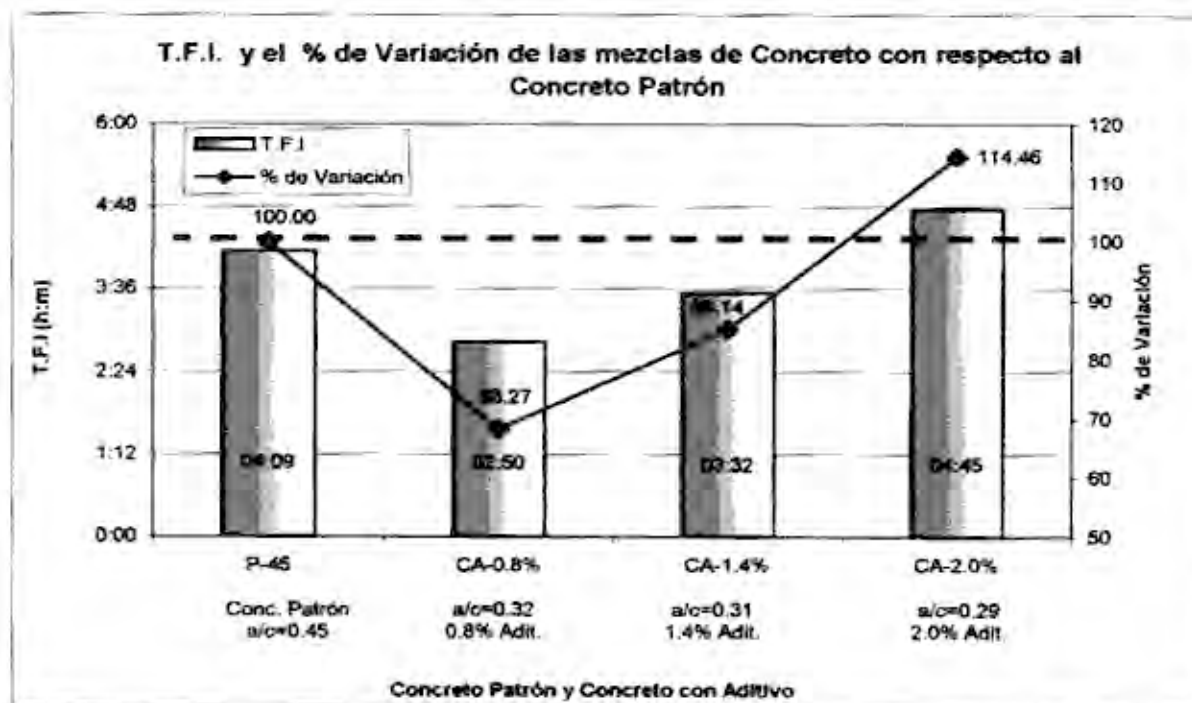


5.1.1.5 Tiempo de Fraguado

Cuadro 5.1.1.5.a: Resumen del Ensayo de Tiempo de Fraguado en el Concreto Patrón y Concreto con aditivo

MEZCLA	TIEMPO DE FRAGUADO			
	Inicial (h : m)	Variación con respecto al Patrón	Final (h : m)	Variación con respecto al Patrón
Concreto Patrón				
P - 45	04:09	100.0%	05:15	100.0%
Concreto con Aditivo				
CA - 0.8%	02:50	68.3%	04:14	80.6%
CA - 1.4%	03:32	85.1%	04:59	94.9%
CA - 2.0%	04:45	114.5%	05:51	111.4%

Gráfico 5.1.1.5.b: Ensayo de Tiempo de Fraguado Inicial (T.F.I.) y Porcentaje de Variación de las mezclas de concreto con respecto al concreto Patrón

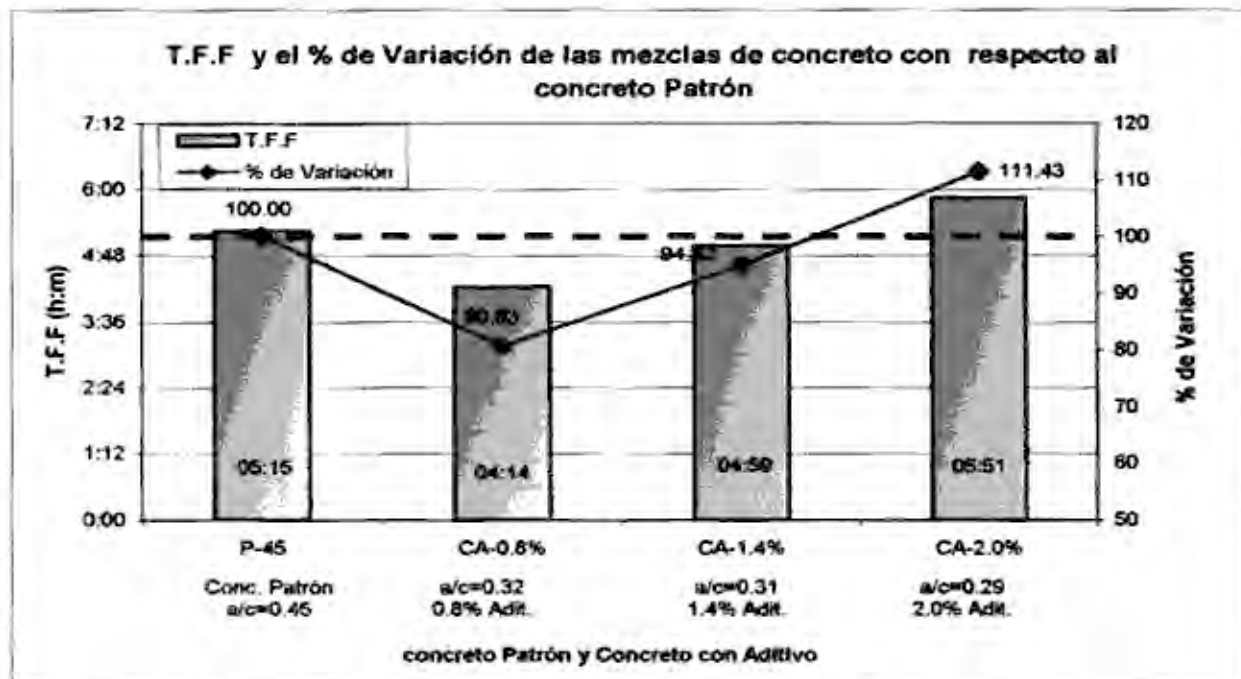


Nota:

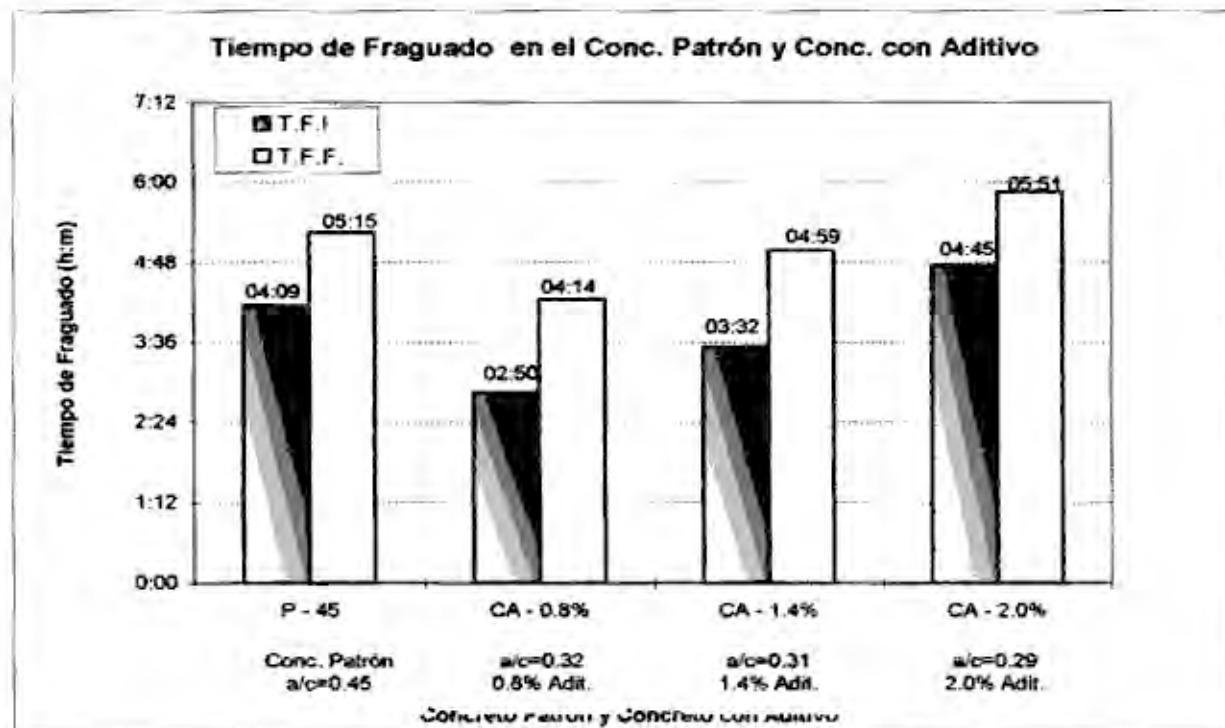
- La mezclas CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0% corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)



Gráfica 5.1.1.5.c : Ensayo de Tiempo de Fraguado Final (T.F.F.) y el Porcentaje de Variación de las mezclas de concreto con respecto al Concreto patrón



Gráfica 5.1.1.5.d: Ensayo de Tiempo de Fraguado en el Concreto Patrón y Concreto con Aditivo



Nota:

- Las mezclas CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0 corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)



5.1.2 ENSAYO EN CONCRETO ENDURECIDO

5.1.2.1 Resistencia a la compresión

Cuadro 5.1.2.1.a: Resumen del ensayo de resistencia a compresión del concreto patrón

MEZCLA	PROBETA	TIPO DE CURADO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
			1d	3d	7d	28d
Concreto Patrón						
P - 45	6" x 12"	A	288.1	297.7	313.4	354.4
		B	289.5	293.1	304.0	343.2
		C	284.5	288.3	329.7	340.9
	4" x 8"	A	275.5	279.8	289.4	339.3
		B	260.1	282.8	290.2	322.6
		C	277.7	278.3	323.7	330.5
	Factor de Extrapolación	A	1.0457	1.0540	1.0458	1.0445
		B	1.0336	1.0364	1.0476	1.0339
		C	1.0245	1.0369	1.0185	1.0315

Cuadro 5.1.2.1.b: Resumen del Ensayo de Resistencia a Compresión del concreto patrón y Concreto con aditivo

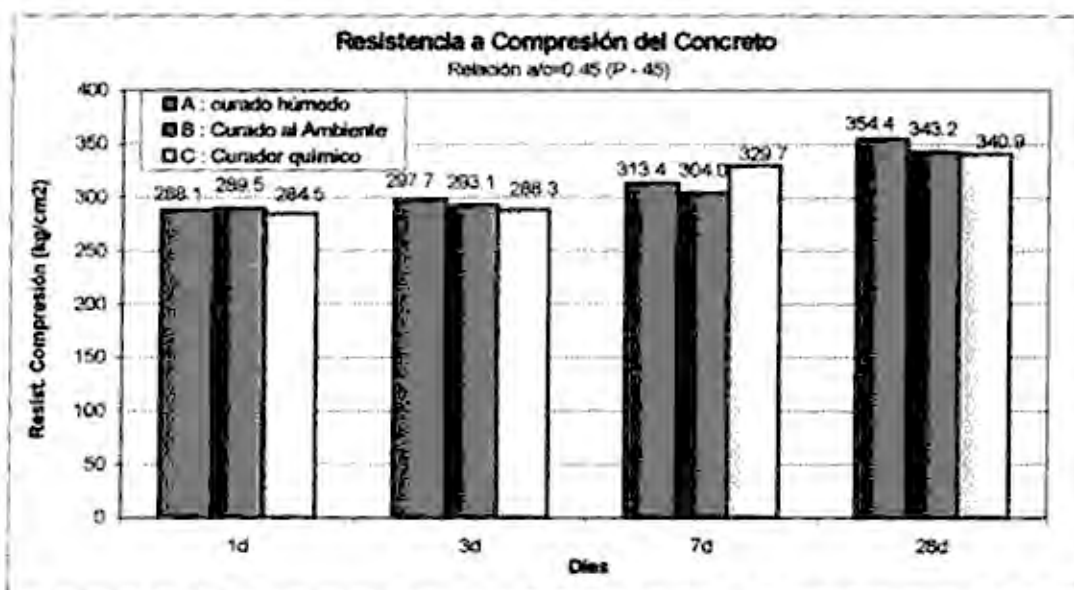
MEZCLA	TIPO DE CURADO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
		1d	3d	7d	28d
Concreto Patrón					
P - 45	A	288.1	297.7	313.4	354.4
	B	289.5	293.1	304.0	343.2
	C	284.5	288.3	329.7	340.9
Concreto con Aditivo					
CA - 0.8%	A	466.5	474.1	476.7	529.0
	B	439.5	446.5	468.8	498.0
	C	366.5	417.5	463.0	517.9
CA - 1.4%	A	459.5	527.2	536.4	586.9
	B	426.3	441.4	515.6	553.0
	C	457.1	464.0	465.0	525.6
CA - 2.0%	A	443.3	488.4	508.8	600.0
	B	412.8	455.8	530.2	594.0
	C	461.3	474.5	460.2	570.8

Nota:

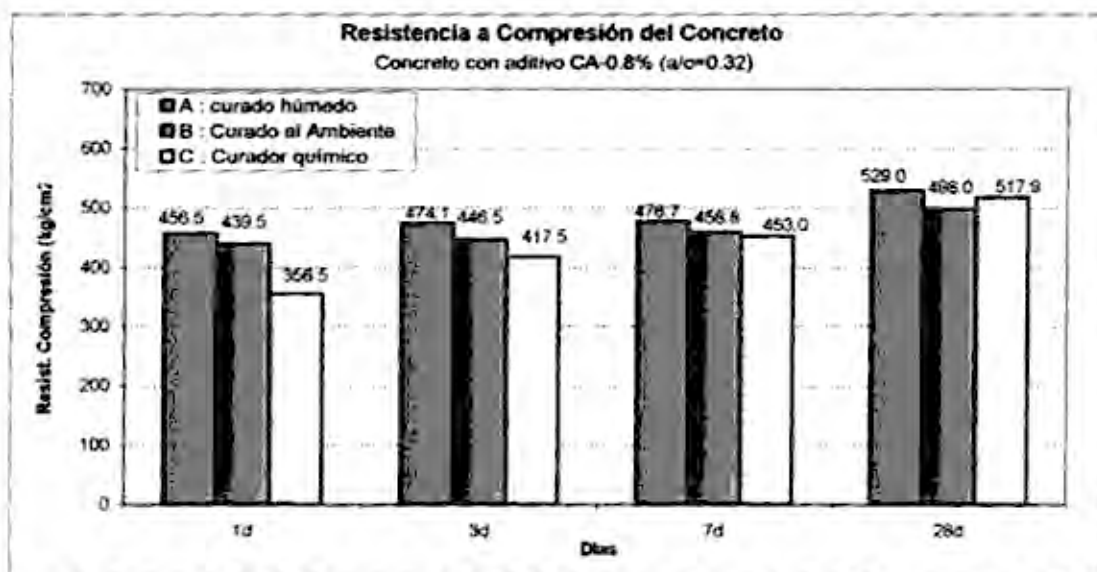
- La mezclas CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0% corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)
- Tipos de curado
 - A : Curado Húmedo
 - B : Curado al ambiente
 - C : Curado químico



Gráfica 5.1.2.1.c: Resistencia a compresión del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45), sometido a diferentes tipos de curado, en función de la edad.



Gráfica 5.1.2.1.d: Resistencia a compresión del concreto con aditivo (CA-0.8%), sometido a diferentes tipos de curado, en función de la edad

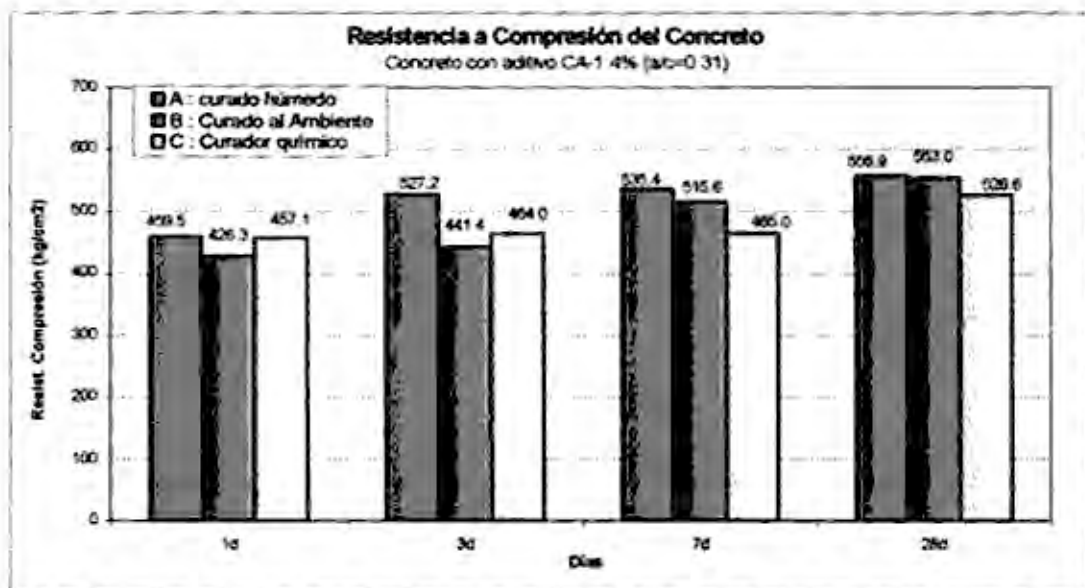


Nota:

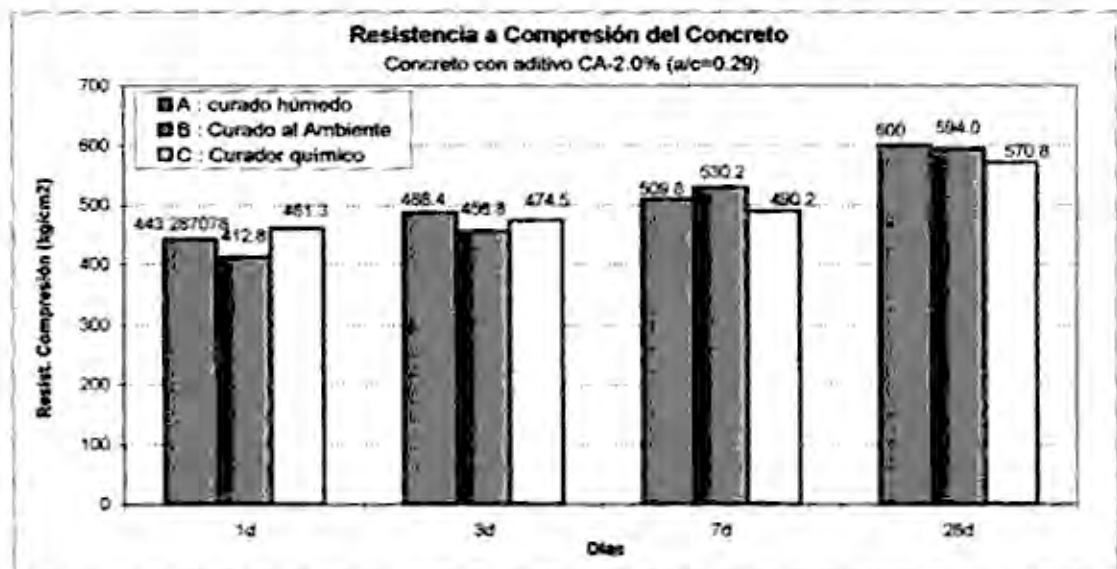
- La mezcla CA-0.8%, corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)
- CA-0.8%: concreto con 0.8% de aditivo



Gráfica 5.1.2.1.e: Resistencia a compresión del concreto con aditivo (CA-1.4%), sometido a diferentes tipos de curado, en función de la edad



Gráfica 5.1.2.1.f: Resistencia a compresión del concreto con aditivo (CA-2.0%), sometido a diferentes tipos de curado, en función de la edad

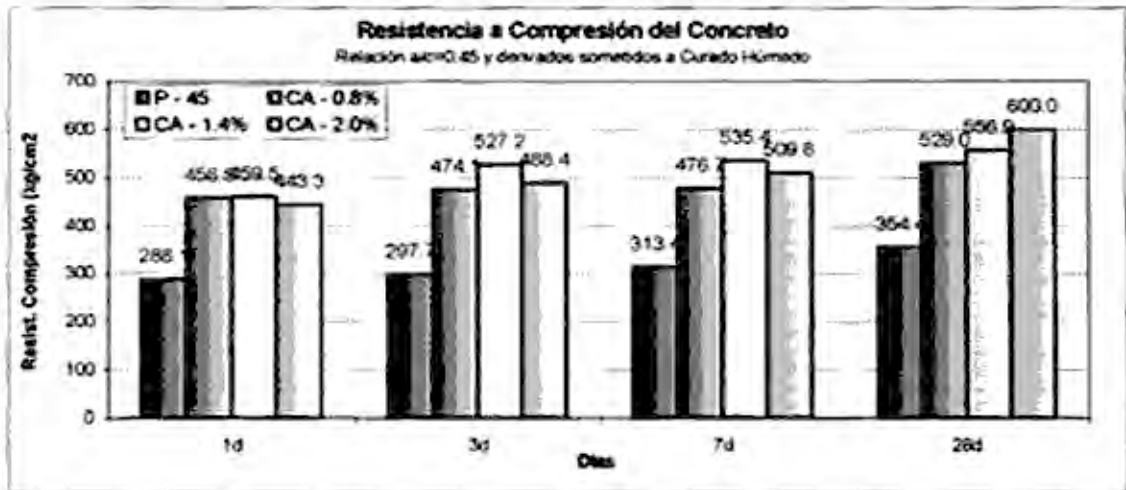


Nota:

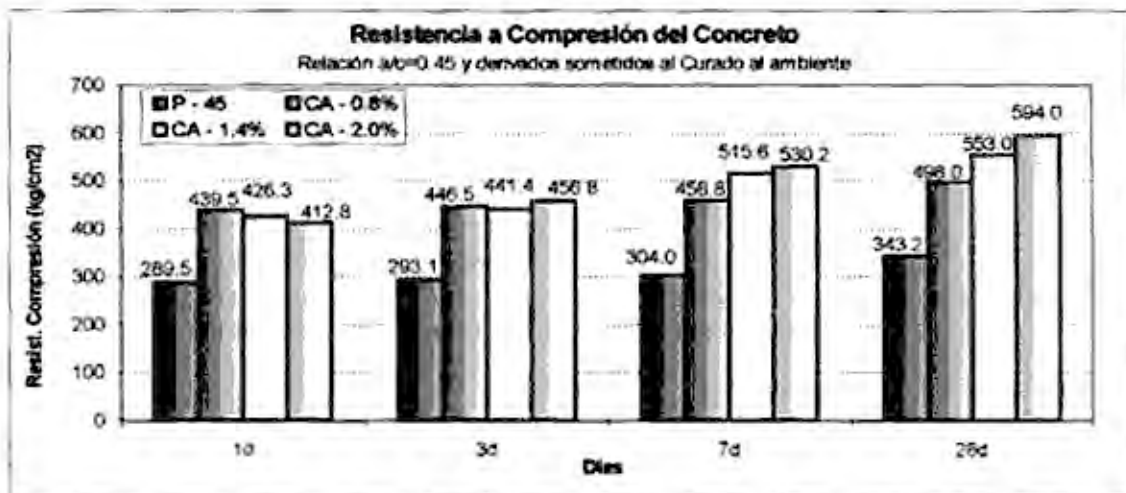
- La mezclas CA-1.4%, CA-2.0%, corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)
- CA-1.4%: concreto con 1.4% de aditivo
- CA-2.0%: concreto con 2.0% de aditivo



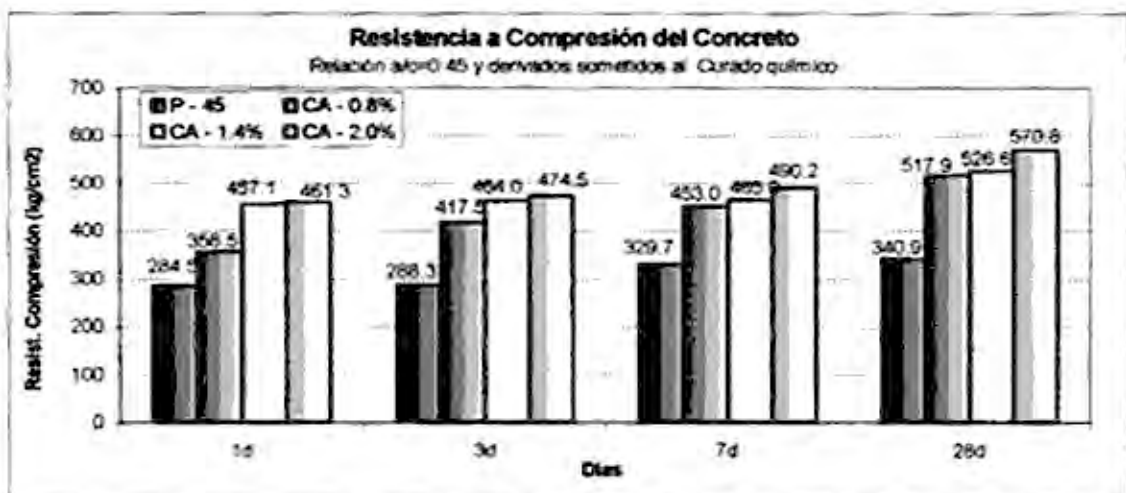
Gráfica 5.1.2.1.g: Resistencia a compresión del Concreto Patrón (P-45) y Concreto con Aditivo (CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%), sometido al curado húmedo, en función de la edad



Gráfica 5.1.2.1.h: Resistencia a compresión del Concreto Patrón (P-45) y Concreto con Aditivo (CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%) sometido al curado al ambiente, en función de la edad



Gráfica 5.1.2.1.i: Resistencia a compresión del Concreto Patrón (P-45) y Concreto con Aditivo (CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%) sometido al curado químico, en función de la edad



Nota:

La mezclas CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0%, corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)

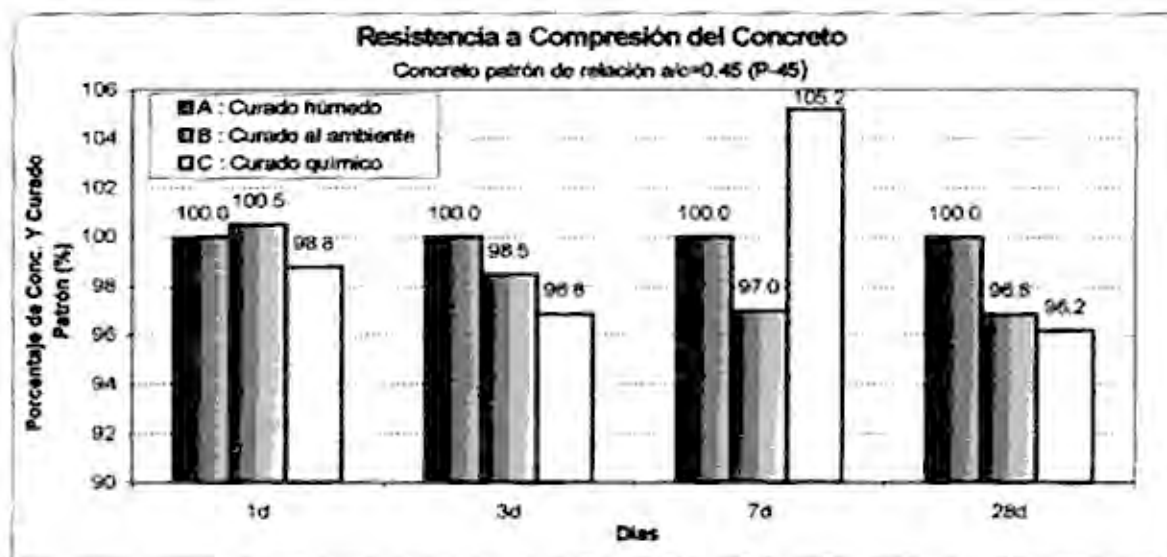


5.1.2.1.1. Análisis Comparativo de la resistencia de las mezclas de concreto (P-45, CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0%) con respecto al concreto patrón y curado patrón.

Cuadro 5.1.2.1.1.a: Resistencia a la Compresión de Concreto, como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto patrón y curado patrón

MEZCLA	TIPO DE CURADO	Variación de la resistencia en (%)			
		1d	3d	7d	28d
Concreto Patrón					
P - 45	A	100.0	100.0	100.0	100.0
	B	100.5	98.5	97.0	96.8
	C	98.8	96.8	105.2	96.2
Concreto con Aditivo					
CA - 0.8%	A	158.4	159.3	152.1	149.3
	B	152.5	150.0	146.4	140.5
	C	123.7	140.2	144.5	146.1
CA - 1.4%	A	159.5	177.1	170.8	157.1
	B	148.0	148.3	164.5	156.0
	C	158.7	155.9	148.4	148.6
CA - 2.0%	A	153.9	164.1	162.7	169.3
	B	143.3	153.4	169.2	167.6
	C	160.1	159.4	156.4	161.1

Gráfica 5.1.2.1.1.b: Resistencia a la compresión del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45), sometido a diferentes tipos de curado expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto patrón y curado patrón, en función de la edad.

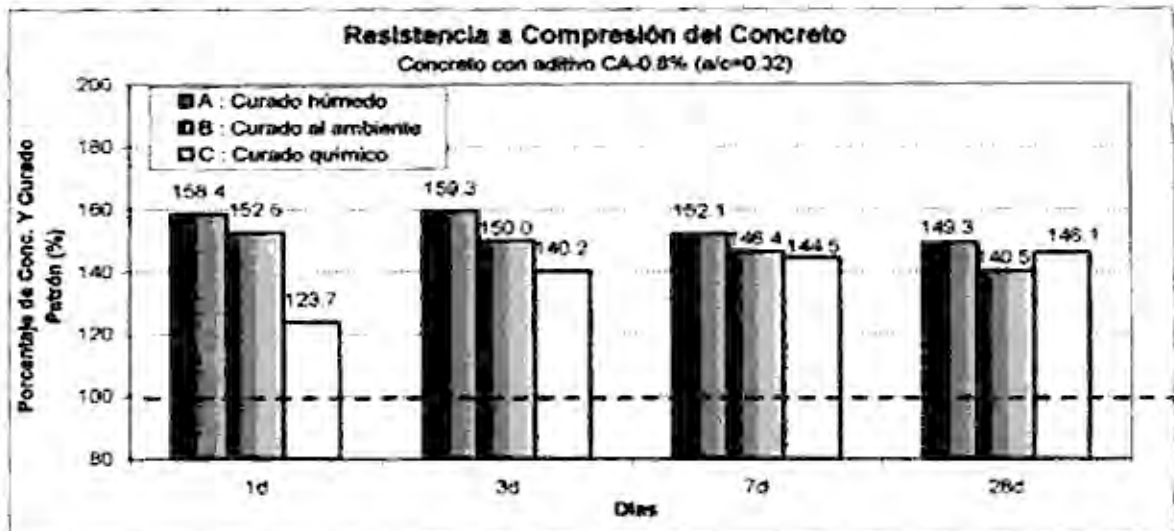


Nota:

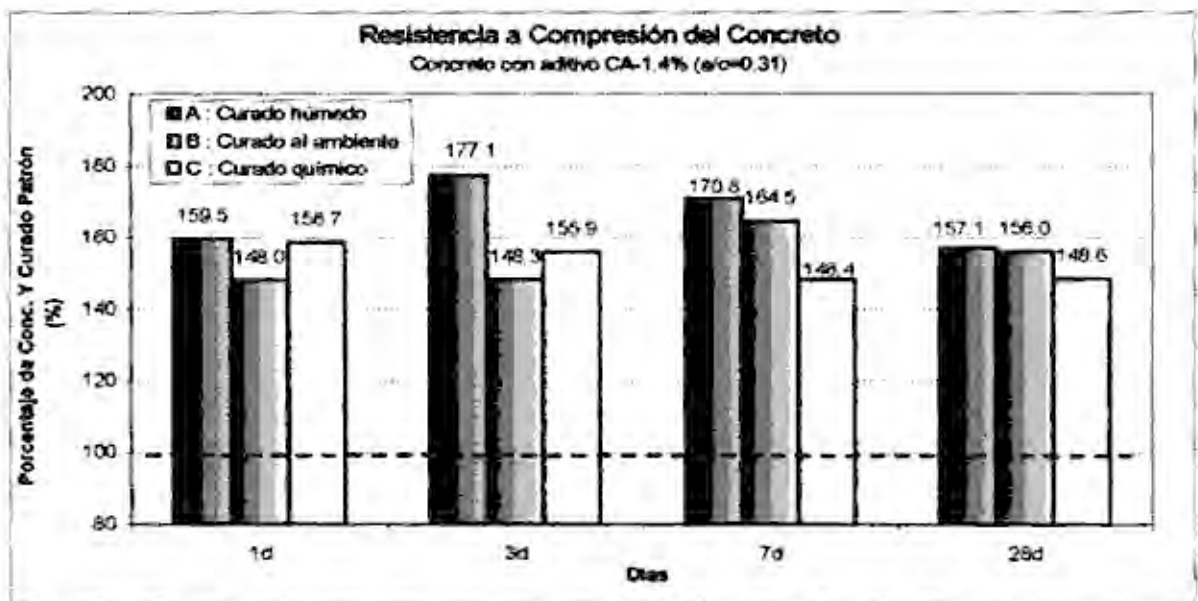
- La mezclas CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0%, corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)
- Curado húmedo o Curado Patrón



Gráfica 5.1.2.1.1.c: Resistencia a la compresión del concreto con aditivo CA-0.8%, sometido a diferentes tipos de curado expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto patrón y curado patrón, en función de la edad.



Gráfica 5.1.2.1.1.d: Resistencia a la compresión del concreto con aditivo CA-1.4%, sometido a diferentes tipos de curado expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto patrón y curado patrón, en función de la edad.

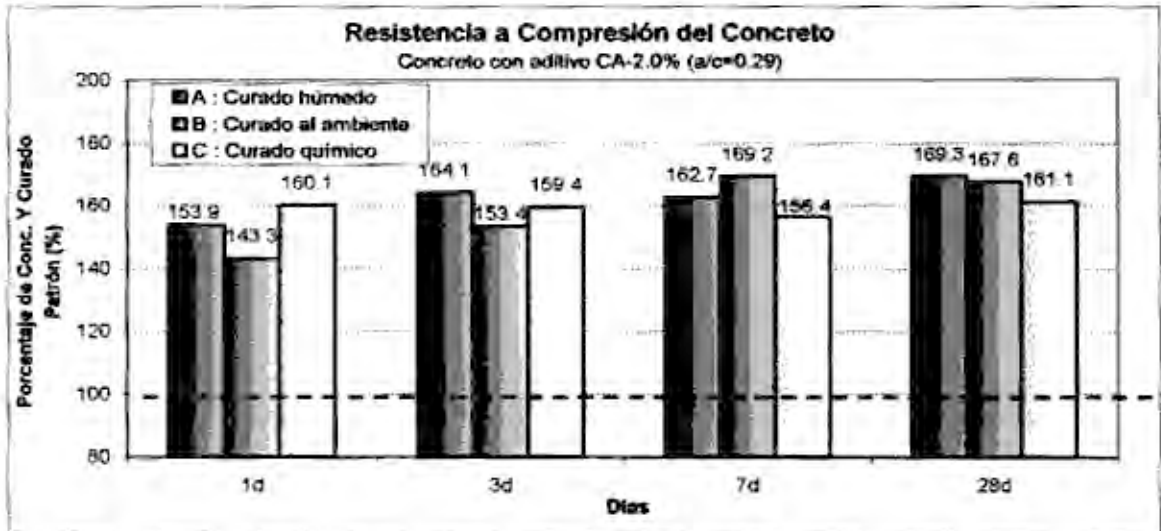


Nota:

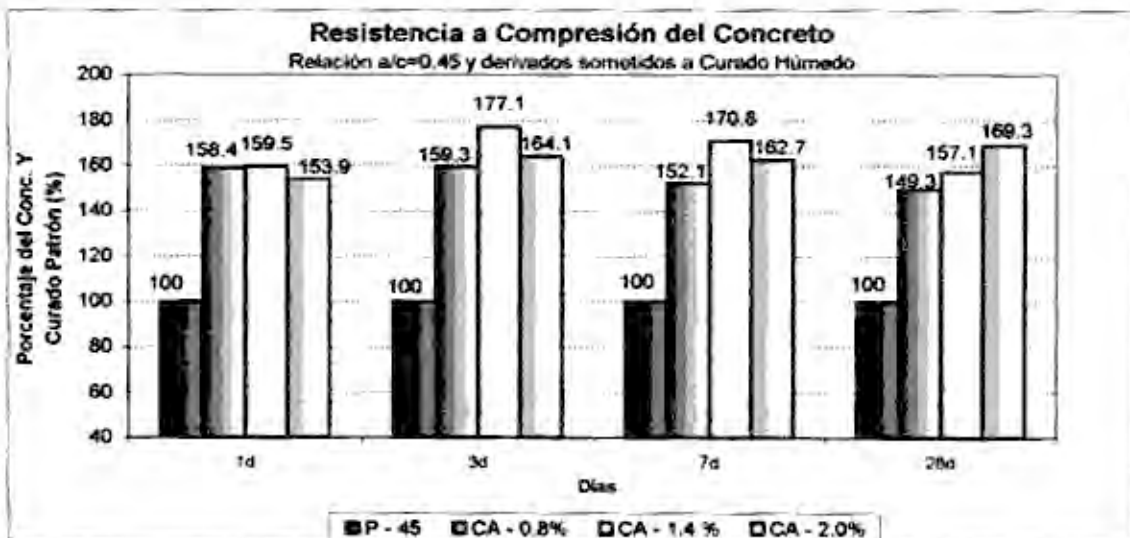
- Las mezclas CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%, corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)
- CA-0.8%: concreto con 0.8% de aditivo
- CA-1.4%: concreto con 1.4% de aditivo
- Curado húmedo o Curado Patrón



Gráfica 5.1.2.1.1.e: Resistencia a la compresión del concreto con aditivo CA-2.0%, sometido a diferentes tipos de curado expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto patrón y curado patrón, en función de la edad.



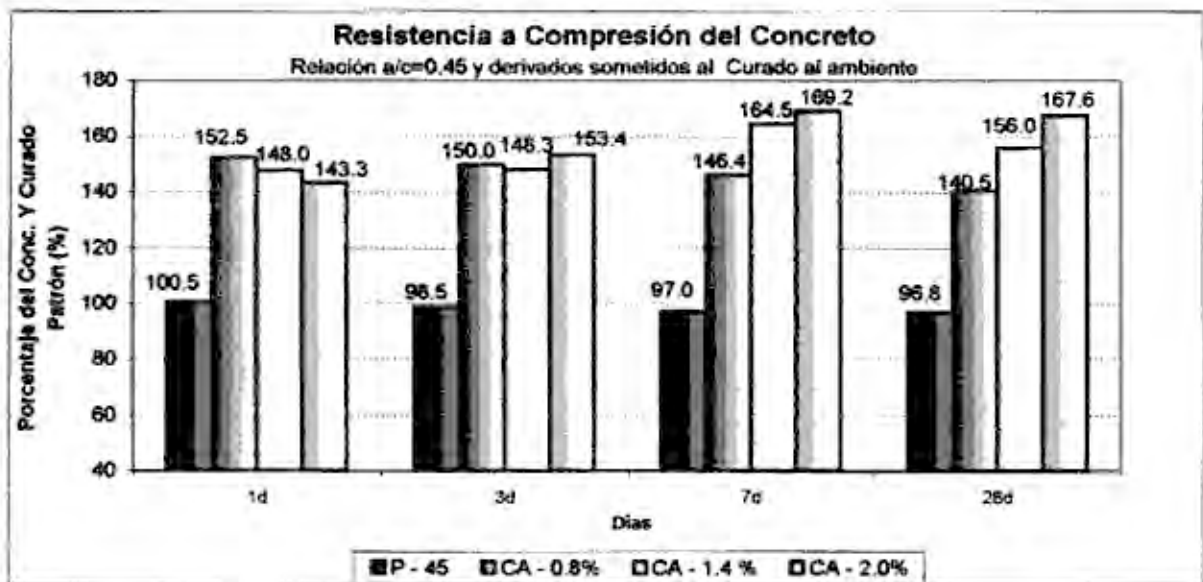
Gráfica 5.1.2.1.1.f: Resistencia a la compresión del Concreto Patrón (P-45) y Concreto con Aditivo (CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%) sometido al curado húmedo expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto patrón y curado patrón, en función de la edad.



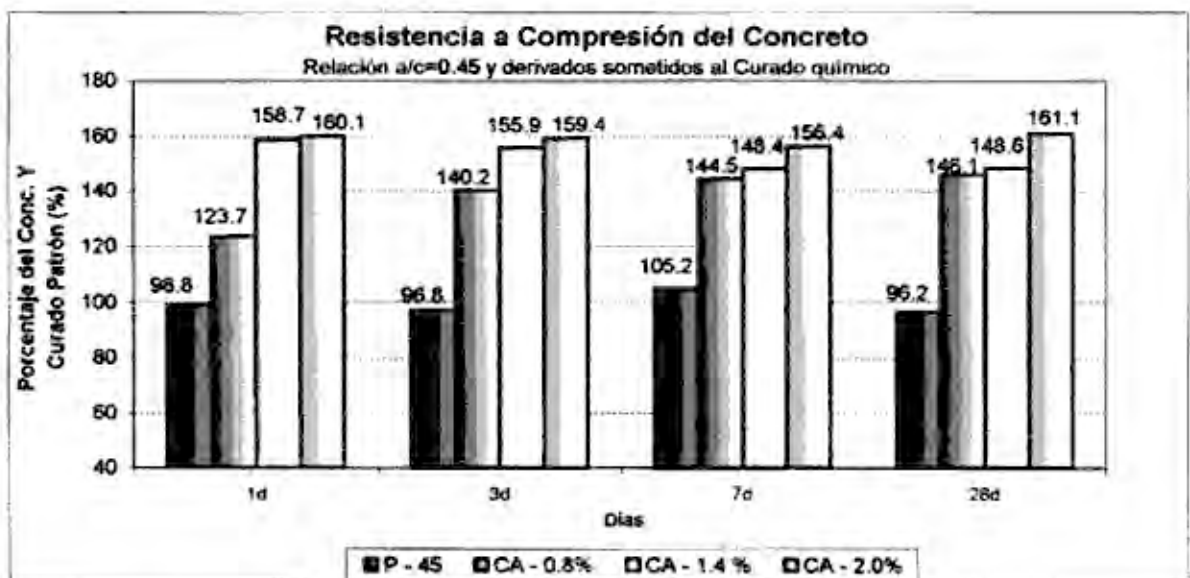
Nota:

- La mezclas CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%, corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)
- CA-0.8%: concreto con 0.8% de aditivo
- CA-1.4%: concreto con 1.4% de aditivo
- Curado húmedo o Curado Patrón

Gráfica 5.1.2.1.1.g: Resistencia a la compresión del Concreto Patrón (P-45) y Concreto con Aditivo (CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%) sometido al curado al ambiente expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto patrón y curado patrón, en función de la edad.



Gráfica 5.1.2.1.1.h: Resistencia a la compresión del Concreto Patrón (P-45) y Concreto con Aditivo (CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%) sometido al curado químico expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto patrón y curado patrón, en función de la edad.



Nota:

- La mezclas CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%, corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)
- CA-0.8% : concreto con 0.8% de aditivo
- CA-1.4% : concreto con 1.4% de aditivo
- CA-2.0% : concreto con 2.0% de aditivo
- Curado húmedo o Curado Patrón

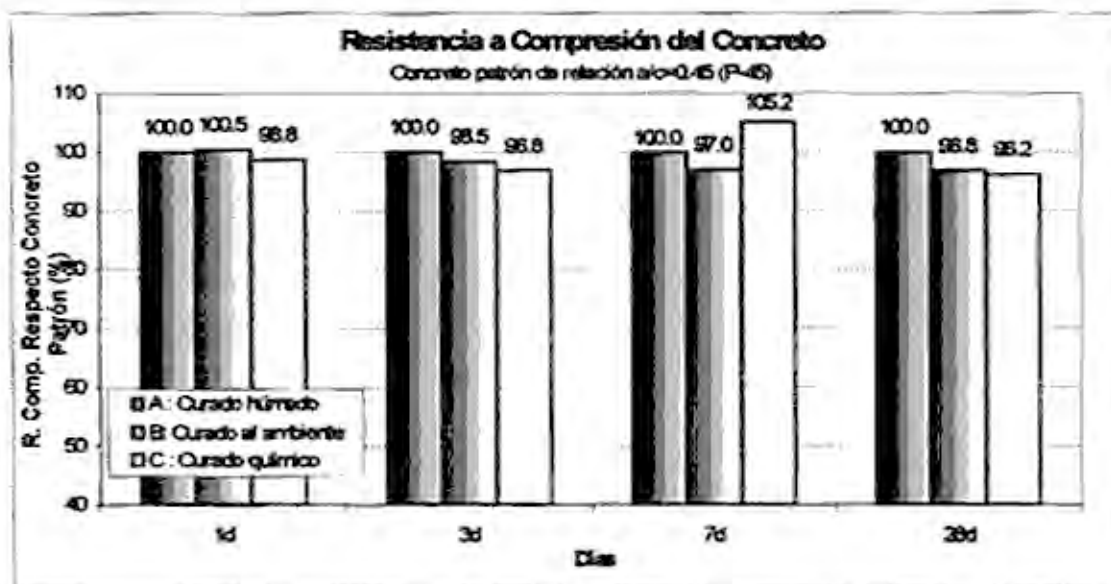


5.1.2.1.2. Análisis Comparativo de la resistencia de las mezclas de concreto (P-45, CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0%) con respecto al concreto patrón.

Cuadro 5.1.2.1.2.a: Resistencia a la Compresión de Concreto, como porcentaje de la resistencia obtenida por el curado patrón.

MEZCLA	TIPO DE CURADO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
		1d	3d	7d	28d
Concreto Patrón					
P - 45	A	100.0	100.0	100.0	100.0
	B	100.5	98.5	97.0	96.8
	C	98.8	98.8	105.2	96.2
Concreto con Aditivo					
CA - 0.8%	A	100.0	100.0	100.0	100.0
	B	96.3	94.2	96.3	94.1
	C	78.1	88.1	95.0	97.9
CA - 1.4%	A	100.0	100.0	100.0	100.0
	B	92.8	83.7	96.3	99.3
	C	99.5	88.0	86.9	94.5
CA - 2.0%	A	100.0	100.0	100.0	100.0
	B	93.1	93.5	104.0	99.0
	C	104.1	97.1	96.2	95.1

Gráfica 5.1.2.1.2.b: Resistencia a la compresión del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45), sometido a diferentes tipos de curado expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el curado patrón, en función de la edad.

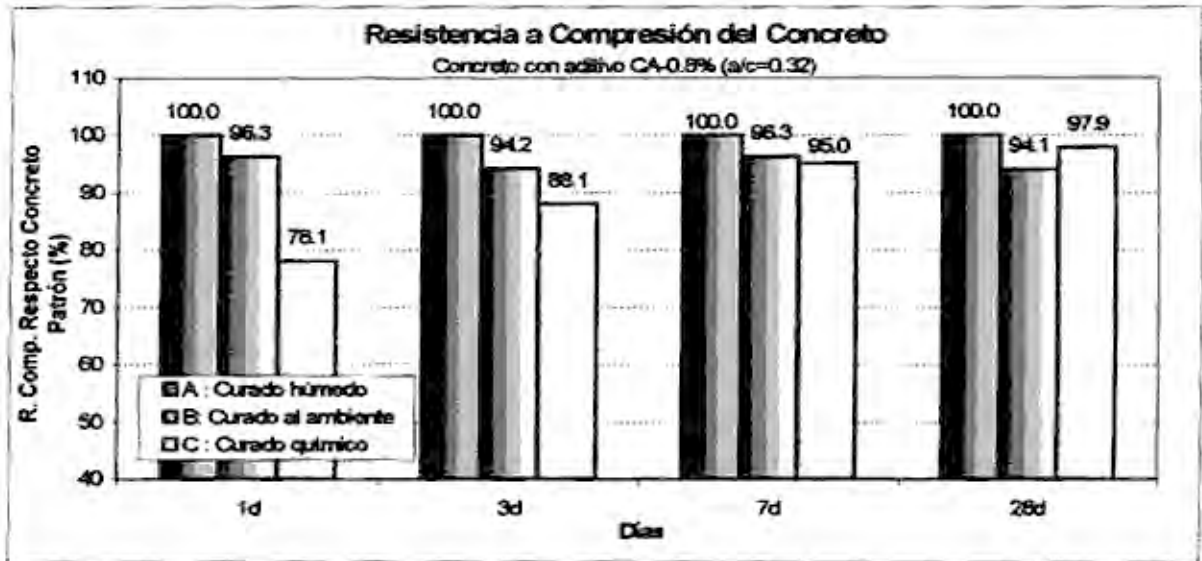


Nota:

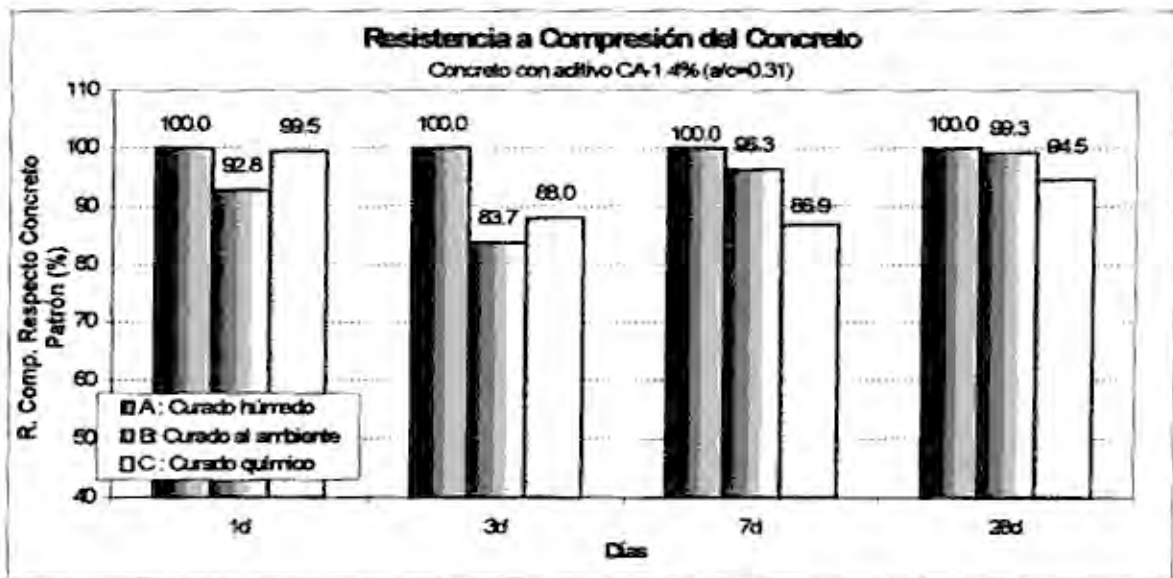
- Las mezclas CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0%, corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)



Gráfica 5.1.2.1.2.c: Resistencia a la compresión del concreto con aditivo CA-0.8%, sometido a diferentes tipos de curado expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el curado patrón y, en función de la edad.



Gráfica 5.1.2.1.2.d: Resistencia a la compresión del concreto con aditivo CA-1.4%, sometido a diferentes tipos de curado expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el curado patrón, en función de la edad.

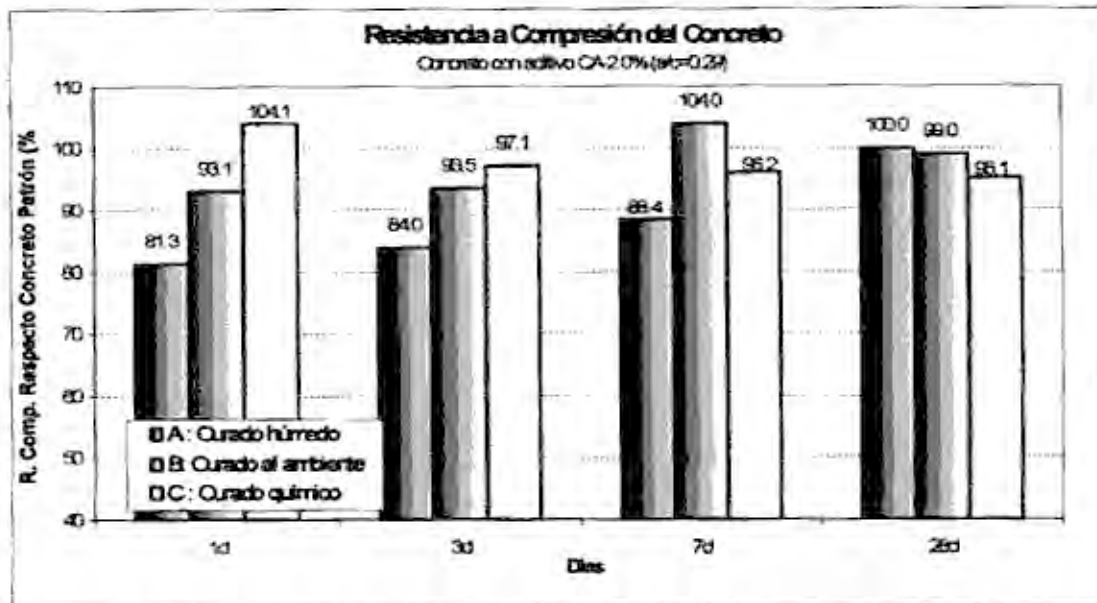


Nota:

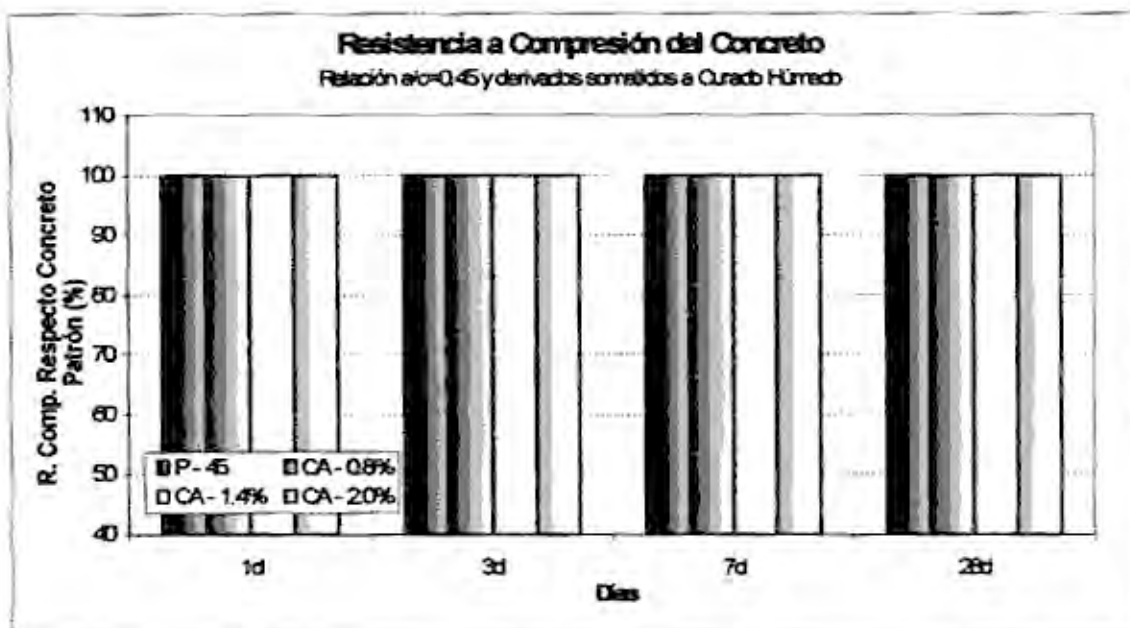
- Las mezclas CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%, corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)
- CA-0.8% : concreto con 0.8% de aditivo
- CA-1.4% : concreto con 1.4% de aditivo
- Curado húmedo o Curado Patrón



Gráfica 5.1.2.1.2.e: Resistencia a la compresión del concreto con aditivo CA-2.0%, sometido a diferentes tipos de curado expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el curado patrón. en función de la edad.



Gráfica 5.1.2.1.2.f: Resistencia a la compresión del Concreto Patrón (P-45) y Concreto con Aditivo (CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%) sometido al curado húmedo expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el curado patrón, en función de la edad.

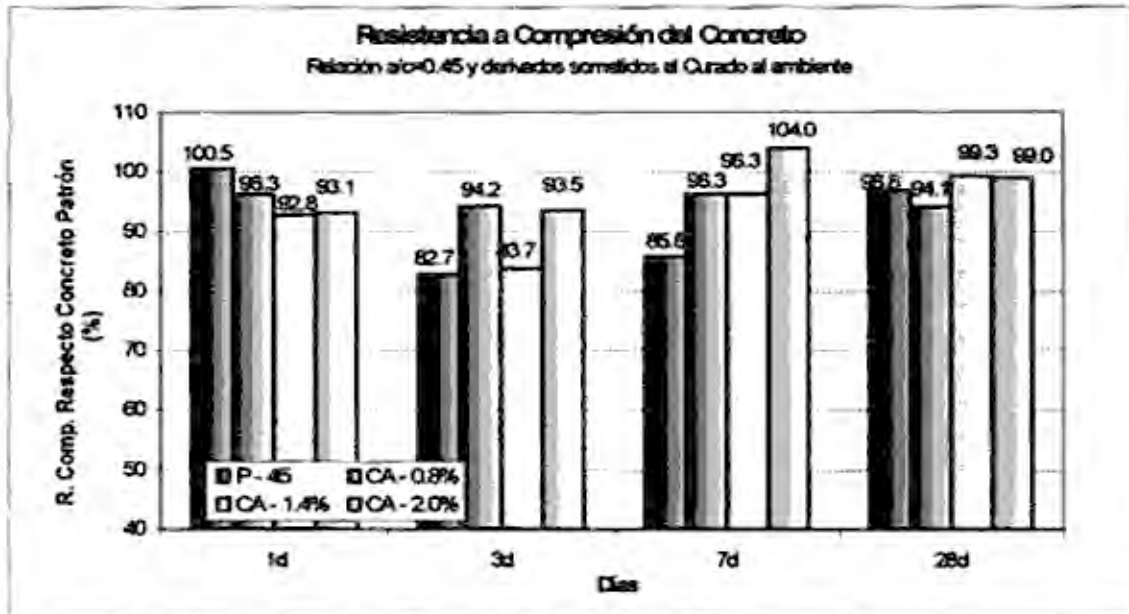


Nota:

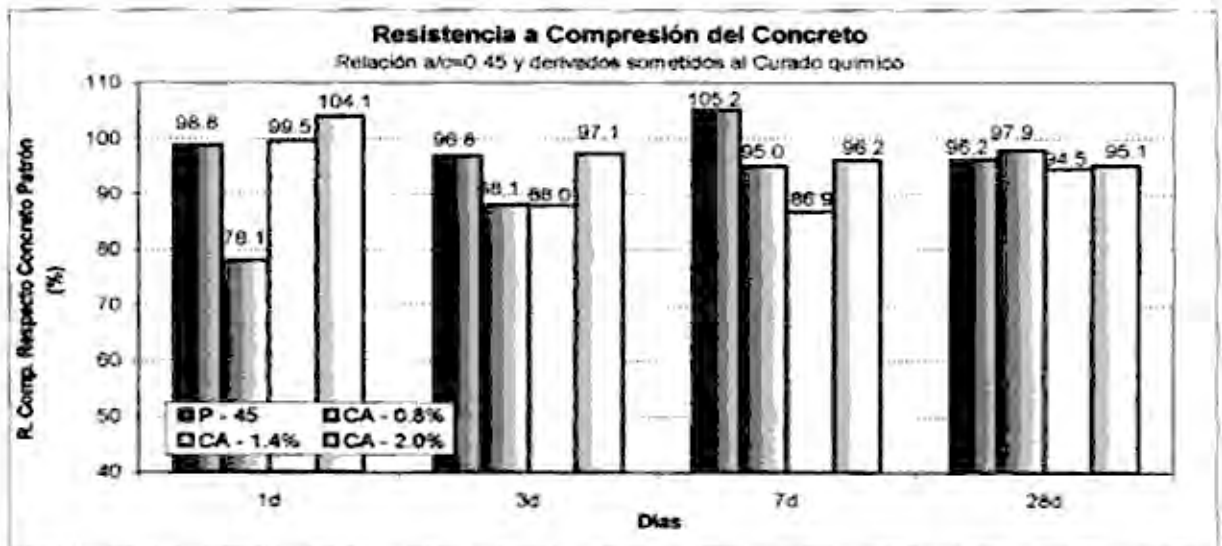
- Las mezclas CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%, corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)
- CA-0.8% : concreto con 0.8% de aditivo
- CA-1.4% : concreto con 1.4% de aditivo
- Curado húmedo o Curado Patrón



Gráfica 5.1.2.1.2.g: Resistencia a la compresión del Concreto Patrón (P-45) y Concreto con Aditivo (CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%) sometido al curado al ambiente expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el curado patrón, en función de la edad.



Gráfica 5.1.2.1.2.h: Resistencia a la compresión del Concreto Patrón (P-45) y Concreto con Aditivo (CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%) sometido al curado químico expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el curado patrón, en función de la edad.



Nota:

- La mezclas CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%, corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)
- CA-0.8% : concreto con 0.8% de aditivo
- CA-1.4% : concreto con 1.4% de aditivo
- CA-2.0% : concreto con 2.0% de aditivo
- Curado húmedo o Curado Patrón

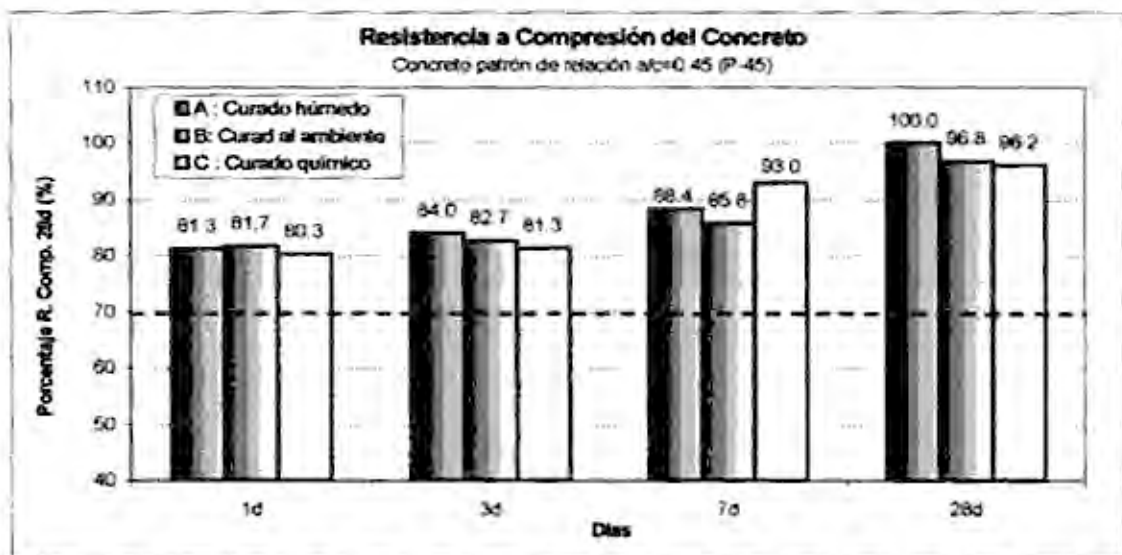


5.1.2.1.3. Análisis Comparativo de la resistencia de las mezclas de concreto (P-45, CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0%) con respecto a la resistencia obtenida a los 28d.

Cuadro 5.1.2.1.3.a: Resistencia a la Compresión de Concreto, como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto a los 28 días.

MEZCLA	TIPO DE CURADO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
		1d	3d	7d	28d
Concreto Patrón					
P - 45	A	81.3	84.0	88.4	100.0
	B	81.7	82.7	85.8	96.8
	C	80.3	81.3	93.0	96.2
Concreto con Aditivo					
CA -0.8%	A	86.3	89.6	90.1	100.0
	B	83.1	84.4	86.7	94.1
	C	67.4	78.9	85.6	97.9
CA - 1.4%	A	82.5	94.7	96.1	100.0
	B	76.6	79.3	92.6	99.3
	C	82.1	83.3	83.5	94.5
CA - 2.0%	A	73.9	81.4	85.0	100.0
	B	68.8	76.1	68.4	99.0
	C	78.9	79.1	81.7	95.1

Gráfica 5.1.2.1.3.b: Resistencia a la compresión del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45), sometido a diferentes tipos de curado expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto a los 28 días.

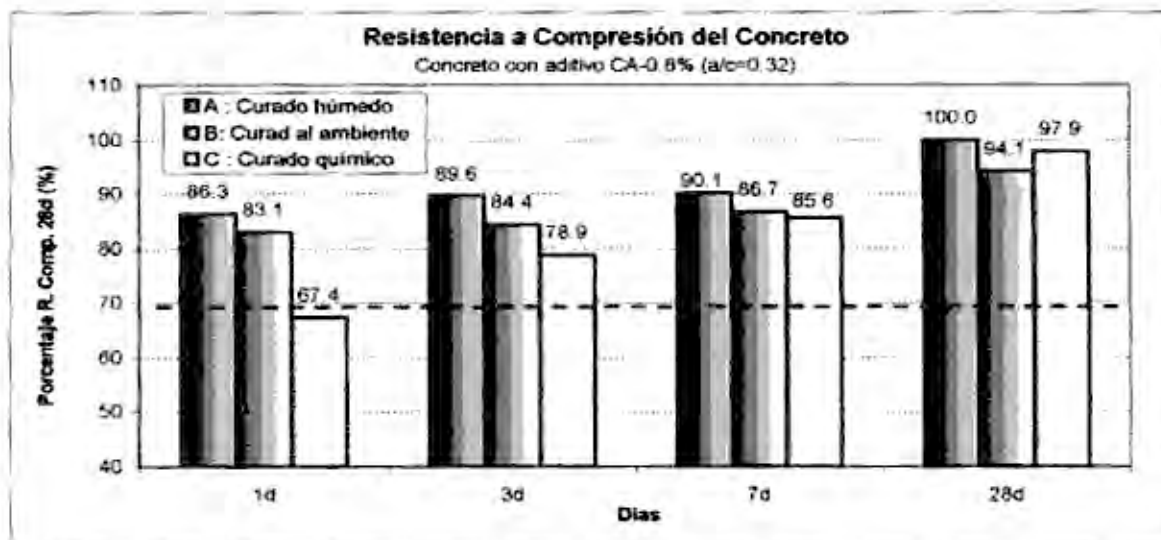


Nota:

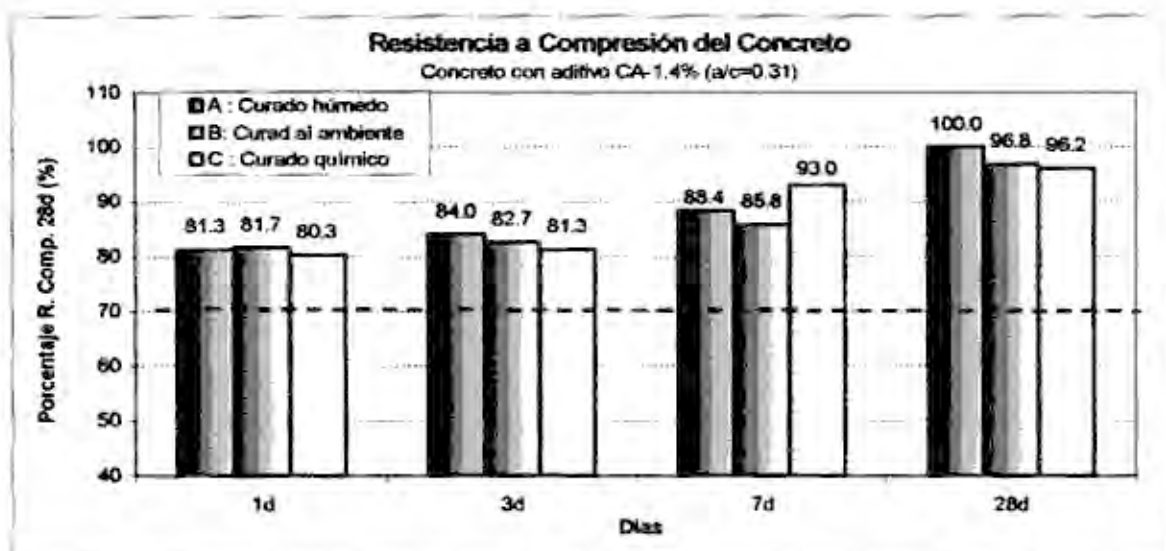
- Las mezclas CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0%, corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)



Gráfica 5.1.2.1.3.c: Resistencia a la compresión del concreto con aditivo CA-0.8%, sometido a diferentes tipos de curado expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto a los 28 días.



Gráfica 5.1.2.1.3.d: Resistencia a la compresión del concreto con aditivo CA-1.4%, sometido a diferentes tipos de curado expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto a los 28 días.

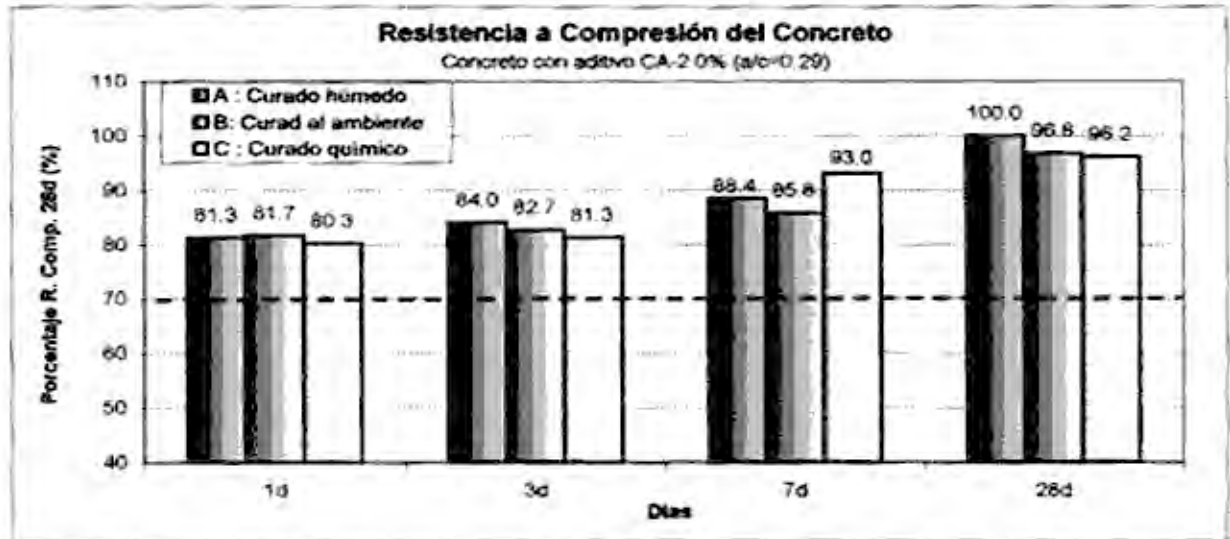


Nota:

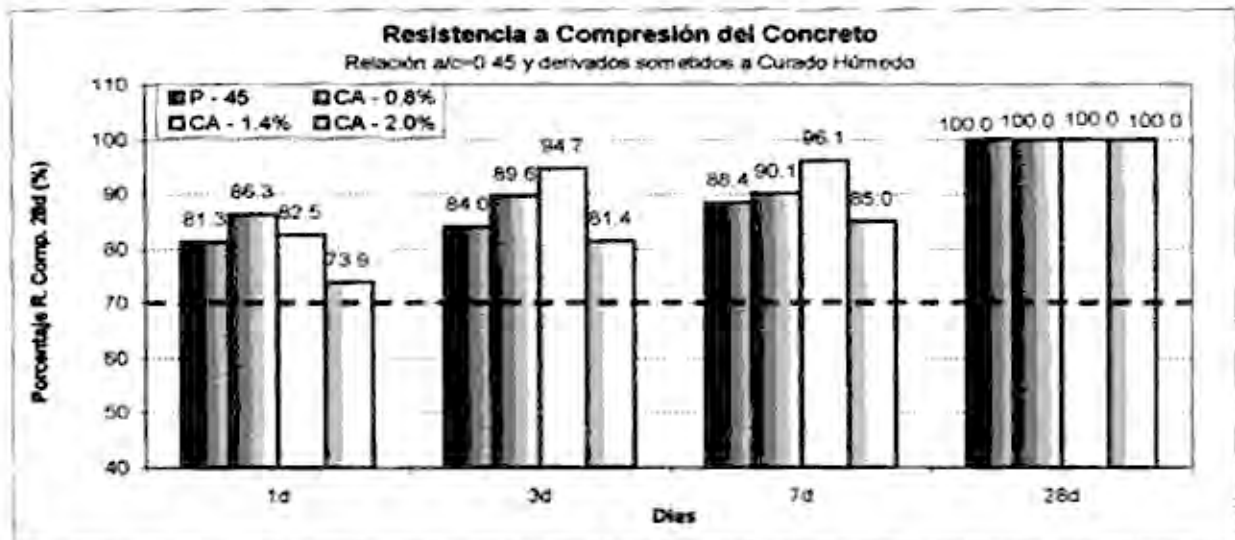
- Las mezclas CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%, corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)
- CA-0.8% : concreto con 0.8% de aditivo
- CA-1.4% : concreto con 1.4% de aditivo



Gráfica 5.1.2.1.3.e: Resistencia a la compresión del concreto con aditivo CA-2.0%, sometido a diferentes tipos de curado expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto a los 28 días.



Gráfica 5.1.2.1.3.f: Resistencia a la compresión del Concreto Patrón (P-45) y Concreto con Aditivo (CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%) sometido al curado húmedo expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto a los 28 días.

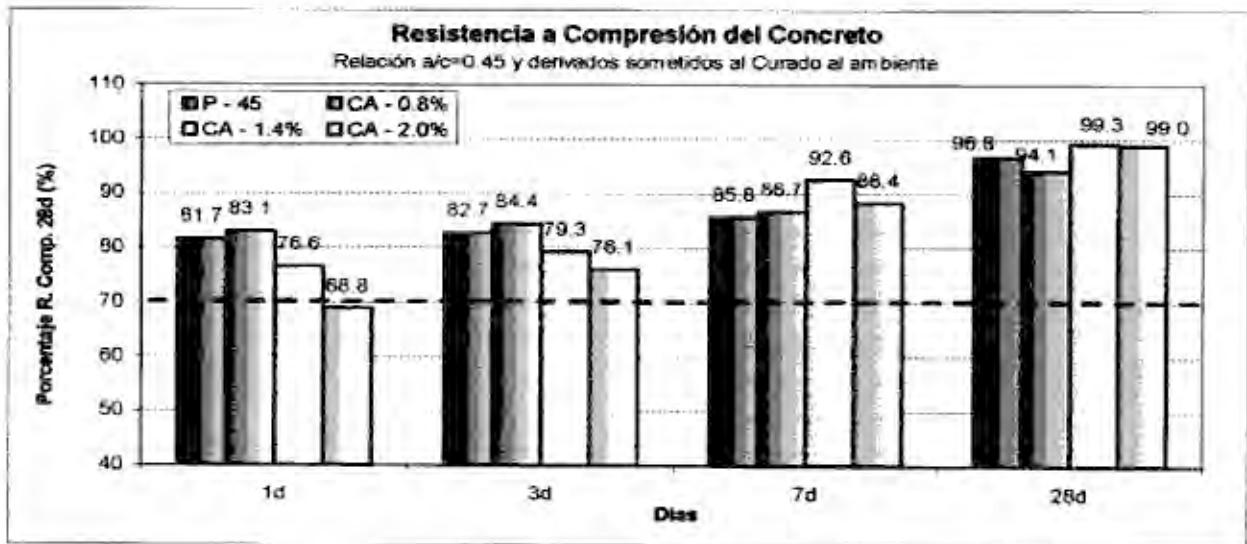


Nota:

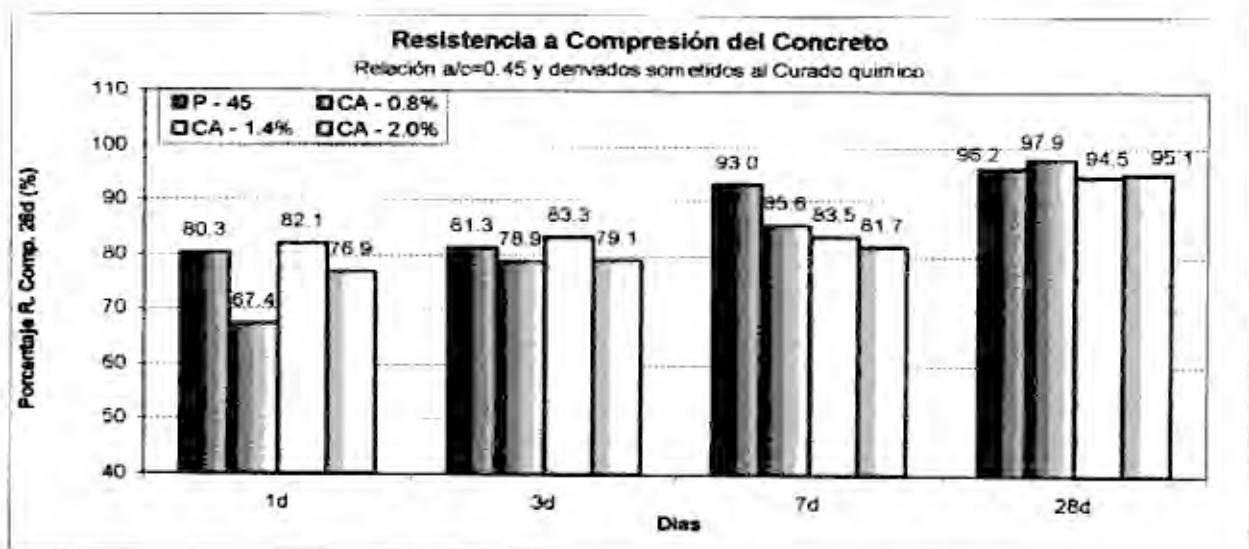
- La mezclas CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%, corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)
- CA-0.8% : concreto con 0.8% de aditivo
- CA-1.4% : concreto con 1.4% de aditivo



Gráfica 5.1.2.1.3.g: Resistencia a la compresión del Concreto Patrón (P-45) y Concreto con Aditivo (CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%) sometido al curado al ambiente expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto a los 28 días.



Gráfica 5.1.2.1.3.h: Resistencia a la compresión del Concreto Patrón (P-45) y Concreto con Aditivo (CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%) sometido al curado químico expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto a los 28 días.



Nota:

- La mezclas CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%, corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)
- CA-0.8% : concreto con 0.8% de aditivo
- CA-1.4% : concreto con 1.4% de aditivo
- CA-2.0% : concreto con 2.0% de aditivo

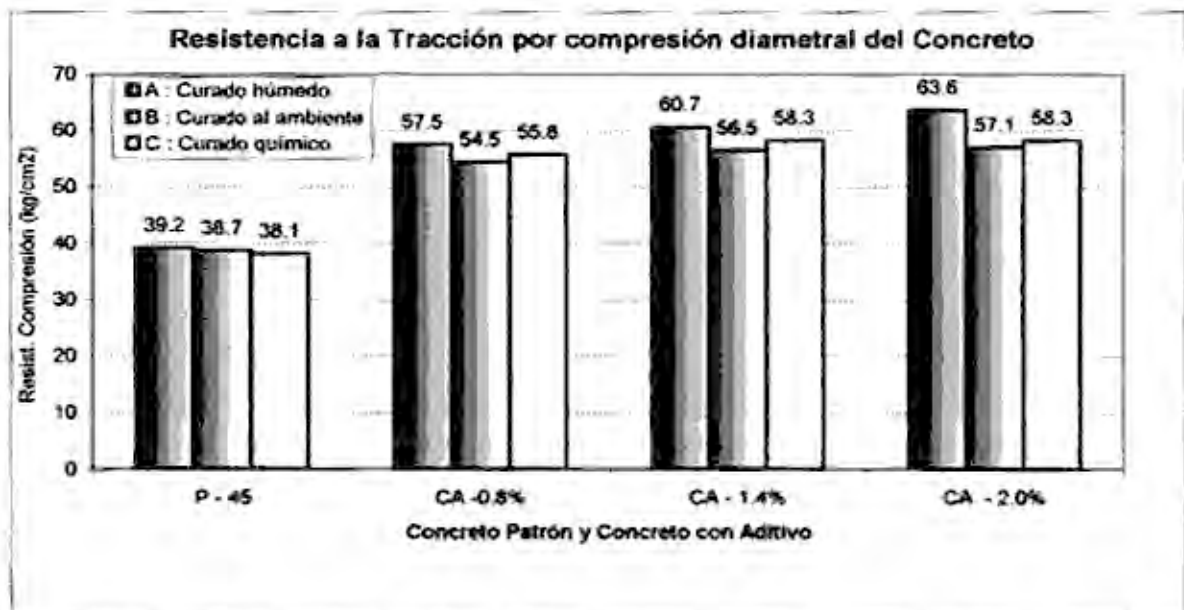


5.1.2.2. Resistencia a la tracción por compresión diametral

Cuadro 5.1.2.2.a: Resumen del ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto

MEZCLA	TIPO DE CURADO	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (kg/cm ²)
A	P - 45	39.2
	CA - 0.8%	57.5
	CA - 1.4%	60.7
	CA - 2.0%	63.6
B	P - 45	38.7
	CA - 0.8%	54.5
	CA - 1.4%	56.5
	CA - 2.0%	57.1
C	P - 45	38.1
	CA - 0.8%	55.8
	CA - 1.4%	58.3
	CA - 2.0%	58.3

Gráfica 5.1.2.2.b: Resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45) y del concreto con aditivo (CA-0.8%,CA-1.4%,CA-2.0%), sometido a diferentes tipos de curado



Nota:

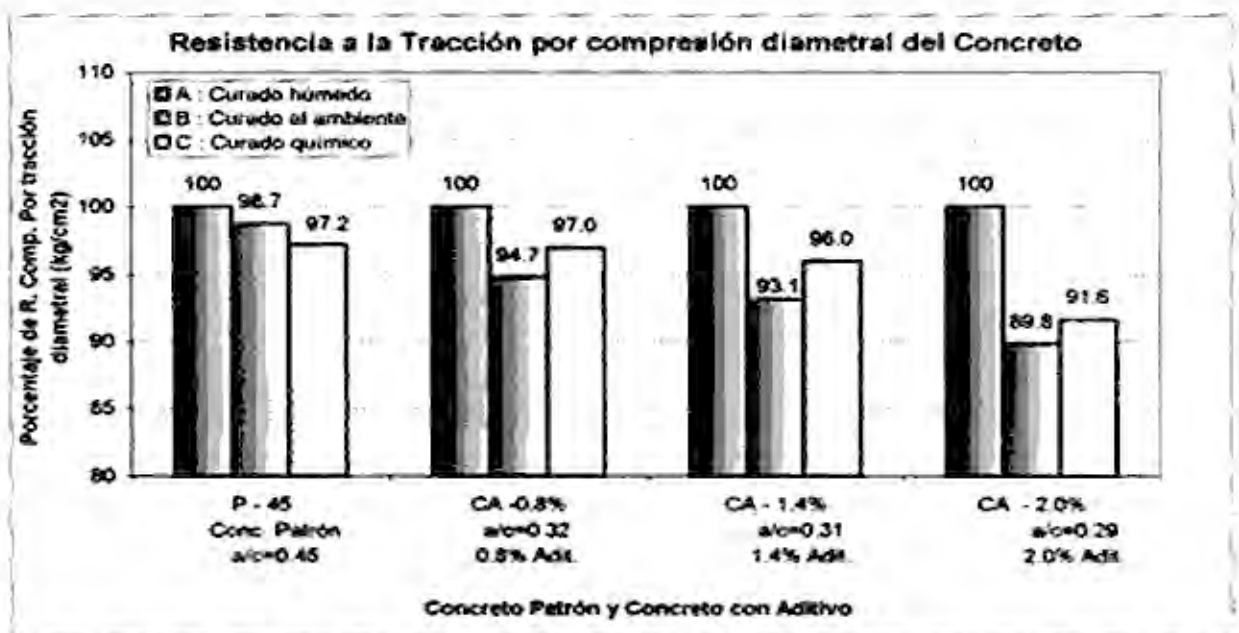
- La mezclas CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%, corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)
- CA-0.8% : concreto con 0.8% de aditivo
- CA-1.4% : concreto con 1.4% de aditivo
- CA-2.0% : concreto con 2.0% de aditivo



Cuadro 5.1.2.2.c: Resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto de las diferentes mezclas de concreto, expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por la probeta sometida a curado húmedo

MEZCLA	TIPO DE CURADO	Porcentaje de la R. Tracción (%)
A	P - 45	100.0
	CA - 0.8%	100.0
	CA - 1.4%	100.0
	CA - 2.0%	100.0
B	P - 45	98.7
	CA - 0.8%	94.7
	CA - 1.4%	93.1
	CA - 2.0%	89.8
C	P - 45	97.2
	CA - 0.8%	97.0
	CA - 1.4%	96.0
	CA - 2.0%	91.6

Gráfica 5.1.2.2.d: Resistencia a la tracción por compresión diametral del Concreto Patrón (P-45) y Concreto con Aditivo (CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%) sometido a los diferentes métodos de curado expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por la probeta sometida a curado húmedo



Nota:

- La mezclas CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%, corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)
- CA-0.8% : concreto con 0.8% de aditivo
- CA-1.4% : concreto con 1.4% de aditivo
- CA-2.0% : concreto con 2.0% de aditivo

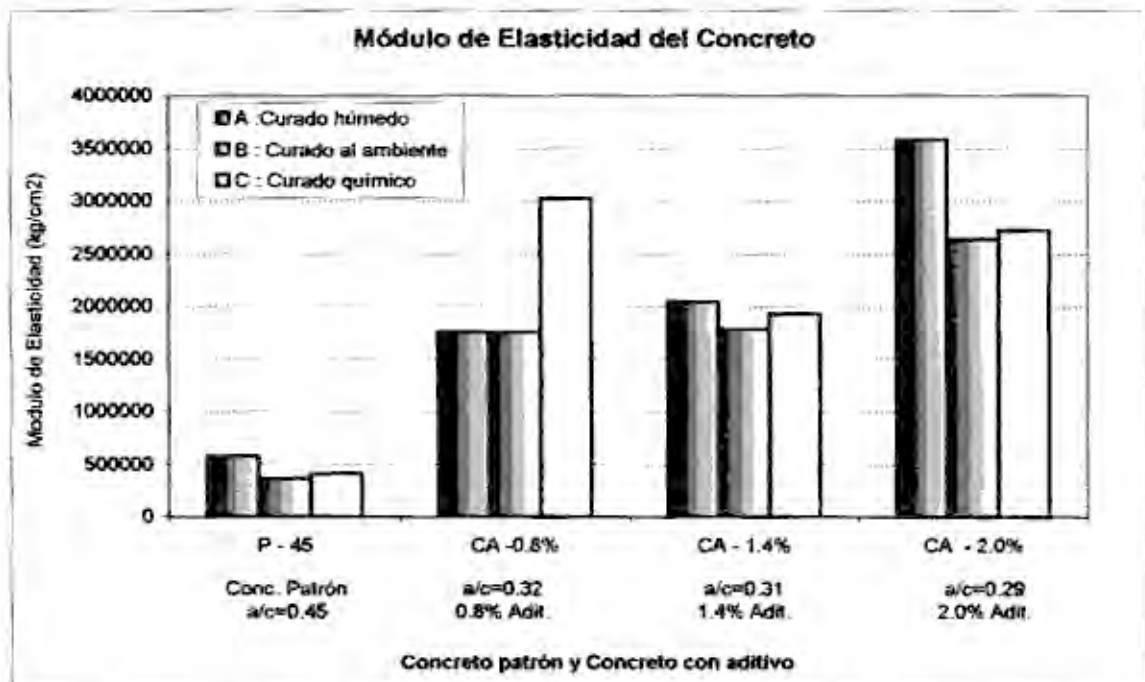


5.1.2.3. Modulo de Elasticidad

Cuadro 5.1.2.3.a: Resumen del ensayo de Módulo de Elasticidad del concreto

MEZCLA	TIPO DE CURADO	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)
A	P - 45	578572.7
	CA - 0.8%	1758784.0
	CA - 1.4%	2048435.9
	CA - 2.0%	3588508.7
B	P - 45	364710.9
	CA - 0.8%	1758763.9
	CA - 1.4%	1762312.6
	CA - 2.0%	2644488.2
C	P - 45	408919.3
	CA - 0.8%	3023056.0
	CA - 1.4%	1928922.9
	CA - 2.0%	2726579.7

Gráfica .1.2.3.b: Modulo de Elasticidad del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45) y del concreto con aditivo (CA-0.8%,CA-1.4%,CA-2.0%), sometido a diferentes tipos de curado



Nota:

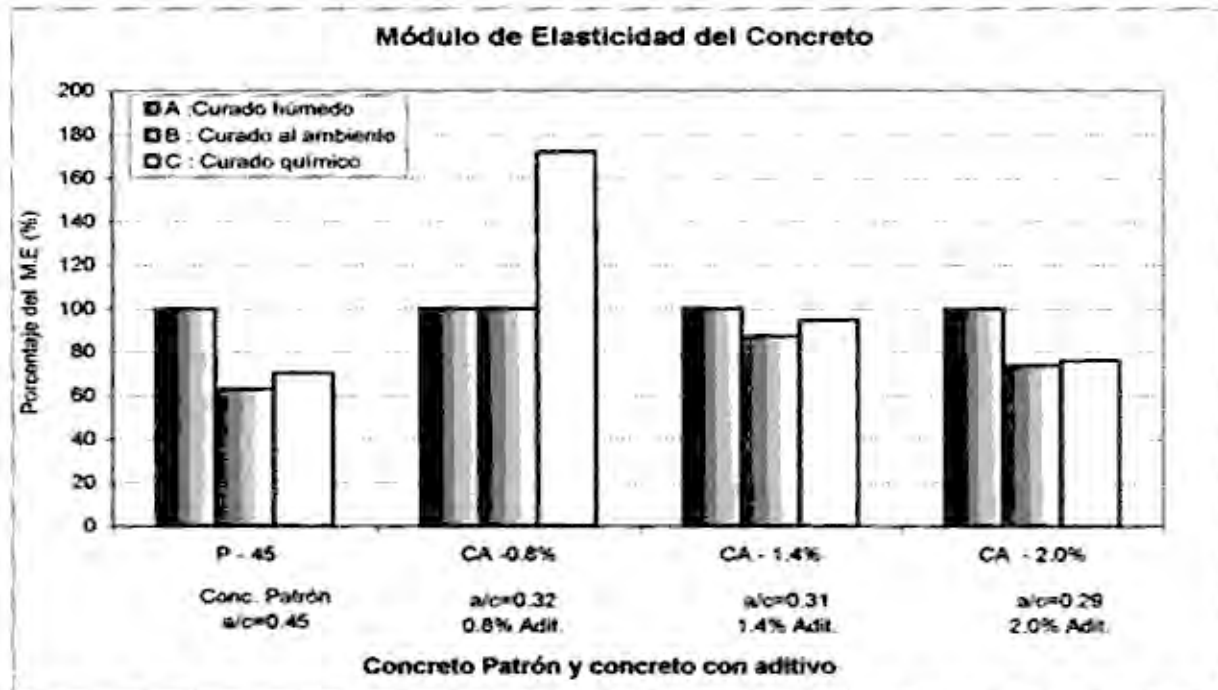
- La mezclas CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%, corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45)
- CA-0.8% : concreto con 0.8% de aditivo
- CA-1.4% : concreto con 1.4% de aditivo
- CA-2.0% : concreto con 2.0% de aditivo



Cuadro 5.1.2.2.c: Módulo de elasticidad para las diferentes mezclas de concreto, expresado como porcentaje del módulo de elasticidad obtenido por la probeta sometida a curado húmedo

MEZCLA	TIPO DE CURADO	Porcentaje del M. E. (%)
A	P - 45	100.0
	CA - 0.8%	100.0
	CA - 1.4%	100.0
	CA - 2.0%	100.0
B	P - 45	53.0
	CA - 0.8%	100.0
	CA - 1.4%	87.1
	CA - 2.0%	73.7
C	P - 45	70.3
	CA - 0.8%	171.9
	CA - 1.4%	94.3
	CA - 2.0%	76.0

Gráfica 5.1.2.2.d: Módulo de Elasticidad del Concreto Patrón (P-45) y Concreto con Aditivo (CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%) sometido a los diferentes métodos de curado expresado como porcentaje del módulo de elasticidad obtenido por la probeta sometida a curado húmedo



Nota:

- Las mezclas CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%, corresponden al concreto con aditivo y fueron generadas a partir del concreto patrón de relación a/c=0.45 (P-45).
- CA-0.8% : concreto con 0.8% de aditivo
- CA-1.4% : concreto con 1.4% de aditivo
- CA-2.0% : concreto con 2.0% de aditivo

Capítulo VI :

Análisis de los Resultados



Para la presente investigación los materiales utilizados fueron : Cemento Portland Tipo I - Sol, los agregados provienen de la cantera "La Gloria" para el caso del Agregado grueso y de la cantera de "La Molina" para el agregado fino, también se usó el aditivo superplastificante Sika Viscocrete 20HE, utilizándose tres dosificaciones de aditivo 0.8, 1.4 y 2.0% en peso de cemento que equivalen a 321.25, 545.22 y 799.83 cm³ por bolsa de cemento , también se utilizó el aditivo curador "Antisol", aplicándose sobre las probetas una capa de este curador que equivale a 32.93 gr. para las probetas de 4" x 8" y 111.14 gr. para las probetas de 6" x 12", teniendo como referencia el rendimiento dado por el fabricante de 200 gr. del curador por m² de superficie.

Se trabajó con la relación a/c = 0.45 (concreto patrón) , con una relación de agregado A/P = 45 / 55, a partir de la mezcla patrón se generó los concretos de alto desempeño utilizando tres dosificaciones de aditivo.

En el presente capítulo se hace el análisis de los resultados de cada uno de los ensayos que se han efectuado sobre el concreto.

- En el concreto en estado fresco , se realizaron los ensayos de: consistencia, peso unitario, contenido de aire (por el método gravimétrico y utilizando el equipo washington), exudación, fluidez y tiempo de fragua, en cada uno de los ensayos se realizó un análisis comparativo con respecto a la muestra patrón, a fin de establecer los porcentajes de variación.
- En el concreto en estado endurecido , se realizaron los ensayos de resistencia a compresión, ensayo de tracción y módulo elástico, tanto en el concreto patrón y concreto con aditivo, los cuales fueron sometidos a diferentes métodos de curado :
 - Tipo A :Curado Patrón o Curado Húmedo - sumergido en agua.
 - Tipo B :Curado al ambiente, expuesto a un ambiente cubierto.
 - Tipo C :Curado Químico, en la que se aplicó una capa de curador químico.

En cada uno de los ensayos se realizó el análisis comparativo con respecto al concreto patrón y curado patrón.

El objetivo principal es analizar la eficiencia de estos métodos de curado a fin de establecer su influencia en los concretos de alto desempeño(concreto con aditivo).

6.1. ENSAYOS DEL CONCRETO FRESCO

6.1.1. Asentamiento

Cuadro 5.1.1.1.a : Resumen del ensayo de consistencia en el patrón (P-45) y concreto con aditivo (CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0%)

En este cuadro se presenta los resultados obtenidos del ensayo de asentamiento, tanto para la relación a/c=0.45 (concreto patrón), así como para las mezclas con adición de aditivo superplastificante Sika Viscocrete 20HE, en 0.8, 1.4 y 2.0% del peso de cemento (que representa el 321.25, 545.22 y 799.83 cm³/ bolsa de cemento).

Gráfico 5.1.1.1.b : Asentamiento y porcentaje de variación de las mezclas de concreto con respecto al concreto patrón.

El gráfico muestra el asentamiento y el porcentaje de variación de las mezclas de concreto con respecto al concreto patrón, siendo los asentamientos para las mezclas con adición de aditivo superplastificante en 0.8, 1.4 y 2.0% del peso de cemento de 4", 4.5" y 5", los mismos que representan el 103.2%, 116.1% y 129.0% respectivamente de asentamiento patrón (3 7/8"), el cual representa el 100%.



Además podemos observar que el asentamiento aumenta considerablemente y en forma proporcional a la dosis de aditivo "Sika Viscocrete 20HE".

Cabe recalcar que en el caso del concreto con adición de aditivo en 0.8, 1.4 y 2.0% del peso de cemento (que representa el 321.25, 545.22 y 799.83 cm³/ bolsa se cemento) los valores antes mencionados corresponden a una medida de asentamiento, mientras que el asentamiento final medido para cada dosificación de aditivo fue: 8 ½", 9" y 9 ¾", los mismos que representan el 219.4%, 232.3% y 251.6% respectivamente de asentamiento patrón (3 7/8"), el cual representa el 100%.

Gráfico 5.1.1.1.c : Asentamiento y el agua de diseño en el concreto patrón y concreto con aditivo.

Del gráfico se puede mostrar que a medida que aumenta la dosificación de aditivo, el agua de diseño disminuye , pero eso no significa que la mezcla de concreto se vuelva seca y por lo tanto el asentamiento disminuya, al contrario debido al mecanismo de acción del aditivo que produce una separación de las partículas de cemento , necesitando por ello una menor cantidad de agua para dispersarlos, y obtener de esta manera mayor trabajabilidad en el concreto con una menor cantidad de agua.

Gráfico 5.1.1.1.d : Cantidad de aditivo utilizado y reducción de agua en el concreto con aditivo

Del gráfico se puede notar que a medida que aumenta la dosis de aditivo para la dosificación de concreto la cantidad de agua utilizada disminuye siendo las cantidades de aditivo utilizadas para las mezclas con aditivo superplastificante Sika Viscocrete 20HE, en 0.8, 1.4 y 2.0% del peso de cemento de 4.35, 7.45 y 11.01 l/m³ de concreto las cuales produjeron una reducción de agua de 52.29, 60.30 y 65.11 l/m³ de concreto las mismas que representan el 22.02% ,25.4% y 27.4% con respecto al agua de diseño patrón (237.5 l/m³), el cual representa el 100%

6.1.2. Peso unitario y Contenido de Aire

Cuadro 5.1.1.2.a : Resumen de los ensayos de peso unitario y contenido de aire del concreto

El cuadro muestra los resultados obtenidos en el ensayo de peso unitario y contenido de aire en el concreto patrón y el concreto con aditivo para las diferentes dosificaciones de aditivo (0.8, 1.4 y 2.0% en peso de cemento). Para el ensayo de contenido de aire se utilizó : el método gravimétrico y también utilizando el equipo de washington.

Gráfico 5.1.1.2.b : Ensayo de Peso unitario y porcentaje de variación de las mezclas de concreto con respecto al concreto patrón.

En este gráfico se puede notar que para la relación a/c =0.45, con 321.25, 545.22 y 799.83 cm³/ bolsa se cemento (que representan el 0.8, 1.4 y 2.0% del peso de cemento) de aditivo "Sika Viscocrete 20 HE", los pesos unitarios fueron: 2408.5, 2443.9 y 2472.1 kg/m³, los mismos que representan el 102.71, 104.22 y 105.42% respectivamente del peso unitario patrón (2345 kg/m³), el cual representa el 100%.

Además se puede observar de los resultados obtenidos , que a mayor dosificación de aditivo "Sika Viscocrete 20HE", el peso unitario aumenta.

Gráfico 5.1.1.2.c : Ensayo de contenido de aire y porcentaje de variación de las diferentes mezclas de concreto con respecto al concreto patrón

La obtención de los resultados de contenido de aire corresponden al método de washington, aquí se puede observar que para la relación a/c =0.45, con 321.25, 545.22 y 799.83 cm³/ bolsa se cemento (que representan el 0.8, 1.4 y 2.0% del peso de cemento) de aditivo "Sika Viscocrete 20 HE", los



contenidos de aire fueron: 1.7%, 1.5% y 1.2 %, los mismos que representan el 80.95%, 71.43% y 57.14% respectivamente del contenido de aire patrón (2.1%), el cual representa el 100%.

De los resultados obtenidos se puede decir que el contenido de aire va disminuyendo conforme se aumenta la dosificación de aditivo

Gráfico 5.1.2.d : Peso unitario y Contenido de Aire en el Concreto Patrón y Concreto con Aditivo

En el gráfico se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de contenido de aire por los dos métodos , siendo los valores obtenidos por el método gravimétrico para el concreto con aditivo, mayores comparados con el concreto patrón mientras que utilizando el equipo de Washington los valores obtenidos por el concreto con aditivo son menores que el obtenido por el concreto patrón.

También se puede notar que para el concreto con aditivo el contenido de aire va disminuyendo conforme aumenta la dosificación de aditivo Sika Viscocrete 20HE, esto sucede tanto en el método gravimétrico así como utilizando el equipo de Washington.

También se debe recalcar que existe una notable diferencia entre los valores obtenidos por el método gravimétrico así como con el método Washington.

MEZCLA	CONTENIDO DE AIRE	
	Gravimétrico	Washington
	(%)	
Concreto Patrón		
P - 45	0.58	2.10
Concreto con Aditivo		
CA - 0.8%	3.24	1.70
CA - 1.4%	2.19	1.50
CA - 2.0%	1.33	1.2

Además se puede observar en el gráfico que el peso unitario aumenta y el contenido de aire disminuye conforme va aumentando la dosificación de aditivo en el ensayo de contenido de aire con el equipo de Washington.

6.1.3. Exudación.

Cuadro 5.1.1.3.a : Resumen de ensayo de exudación

El cuadro muestra los resultados obtenidos en el ensayo de exudación en el concreto patrón y el concreto con aditivo para las diferentes dosificaciones de aditivo (0.8, 1.4 y 2.0% en peso de cemento), así como el porcentaje de variación con respecto al concreto patrón.

Gráfico 5.1.1.3.b : Ensayo de Exudación en el Concreto Patrón y Concreto con Aditivo

En este gráfico se puede observar que para la mezcla patrón se obtuvo una exudación de 0.55%, mientras que para las mezclas con adición de aditivo de 321.25, 545.22 y 799.83 cm³/ bolsa se cemento (que representan el 0.8, 1.4 y 2.0% del peso de cemento), no presentaron exudación, este comportamiento es debido a la disminución del contenido de agua por el uso del aditivo Sika Viscocrete 20HE que es un superplastificante, y además es un aditivo acelerante, que con la poca cantidad de agua presente en la pasta inicia inmediatamente el proceso de hidratación (para poder alcanzar resistencias iniciales altas) no permitiendo así exudación alguna.



También es necesario notar que estos tipos de mezclas son menos porosas debido a que el agua que no intervino en la hidratación y que normalmente forma cavidades en el interior de la mezcla, es menor y por lo tanto el material es más compacto

6.1.4. Fluidez.

Cuadro 5.1.1.4.a : Resumen del ensayo de fluidez

En este cuadro se muestran los resultados obtenidos del ensayo de fluidez, tanto para la relación $a/c=0.45$ (concreto patrón), así como para las mezclas con adición de aditivo superplastificante en 0.8, 1.4 y 2.0% del peso de cemento (que representa el 321.25, 545.22 y 799.83 cm^3 / bolsa se cemento) y el porcentaje de variación con respecto al concreto patrón

Gráfico 5.1.1.4.b : Ensayo de Fluidez y Porcentaje de Variación de las mezclas de concreto con respecto al concreto patrón

La evaluación de la fluidez se hizo para obtener el Índice de Consistencia del concreto fresco, por lo que se utilizó la Mesa de Flujo , en el gráfico podemos observar que para la relación $a/c =0.45$, con 321.25, 545.22 y 799.83 cm^3 / bolsa se cemento (que representan el 0.8, 1.4 y 2.0% del peso de cemento) de aditivo "Sika Viscocrete 20 HE", los Índices de Consistencia fueron: 94.8%, 96.0% y 97.1%, los mismos que representan el 116.2%, 117.6% y 119.0% respectivamente del Índice de consistencia patrón (81.60%), el cual representa el 100%, estos valores de índice de consistencia corresponden a una primera medida del diámetro del concreto .

Mientras que los valores obtenidos al termino del flujo del concreto de : 125.6%, 132.8% y 141.6%, los mismos que representan el 153.9%, 162.7% y 173.5% respectivamente del Índice de consistencia patrón (81.60%), el cual representa el 100%.

Gráfico 5.1.1.4.c : Asentamiento y Fluidez en el Concreto con Aditivo

En el presente gráfico se puede observar que el asentamiento y el índice de consistencia va aumentando a medida que se incrementa la dosificación de aditivo en la mezcla de concreto, estas mezclas a pesar que tienen un alto porcentaje de reducción de agua no presentaron segregación al contrario en el anexo 3 se pueden observar que tanto la pasta como la piedra se movilizan en conjunto, esto se debe a la capacidad cohesiva que tiene el aditivo para mantener como uno solo el material

6.1.5. Tiempo de Fraguado.

Cuadro 5.1.1.5.a : Resumen del ensayo de Tiempo de fraguado en el concreto patrón y concreto con aditivo

En este cuadro se presenta los resultados obtenidos del ensayo de Tiempo de Fraguado, tanto para la relación $a/c=0.45$ (concreto patrón), así como para las mezclas con adición de aditivo superplastificante en 0.8, 1.4 y 2.0% del peso de cemento (que representa el 321.25, 545.22 y 799.83 cm^3 / bolsa se cemento), además se puede observar los porcentajes de variación del tiempo de fraguado inicial y final con respecto al concreto patrón respectivamente.

Gráfico 5.1.1.5.b , 5.1.1.5.c y 5.1.1.5.d : Ensayo de Tiempo de Fragua Inicial y Final , además del porcentaje de variación de las mezclas de concreto con respecto al concreto patrón

En la gráfica 6.1.1.5.b se puede observar el Tiempo de fragua inicial en función de las diferentes mezclas de concreto tanto concreto patrón como con aditivo en la que los valores obtenidos para el tiempo de fragua inicial fueron : 02:50 h:m, 03:32 h:m y 04:45 h:m, los mismos que representan el



68.27%, 85.14% y 114.46% respectivamente del Tiempo de fragua inicial patrón (04:09 h:m), el cual representa el 100%.; mientras que para el tiempo de fragua final (gráfica 5.1.1.5.c) fueron: 04:14 h:m, 04:59 h:m y 05:51 h:m, los mismos que representan el 80.63%, 94.92% y 111.43% respectivamente del Tiempo de fragua final patrón (05:15 h:m), el cual representa el 100%

De los resultados obtenidos se puede decir que para una dosificación de aditivo Sika Viscocrete 20HE mayores a 1.4% en peso de cemento se comporta como un aditivo retardante.

6.2. ENSAYO EN CONCRETO ENDURECIDO

6.2.1. Resistencia a Compresión.

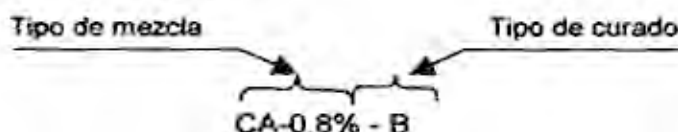
Cuadro 5.1.2.1.a : Resumen de los ensayos de resistencia compresión del concreto patrón

En el presente cuadro se muestra los resultados obtenidos en el concreto patrón (P-45) para los diferentes métodos de curado (A: Curado húmedo, B : curado al ambiente y C : Curado Químico) a la edad de 1, 3, 7 y 28 días. Las probetas que se prepararon son : 6" x12" y 4" x 8" , para posteriormente continuar preparando las probetas de 4" x 8" en los concretos con aditivo, ya que la máquina de compresión no soportaría cargas mayores, es por ello que posteriormente se calcularía el factor de extrapolación , estableciéndose la variación de carga en función del tamaño de las probetas.

Cuadro 5.1.2.1.b : Resumen del Ensayo de Resistencia a Compresión del concreto patrón y concreto con aditivo

En este cuadro se puede observar que se presentan los resultados obtenidos en el concreto patrón (P-45) y en el concreto con aditivo (CA-0.8%, CA - 1.4% y CA - 2.0%) para los diferentes métodos de curado (A: Curado húmedo, B : curado al ambiente y C : Curado Químico) a la edad de 1, 3, 7 y 28 días, pero estos ya están afectados por el factor de extrapolación. El análisis que se presenta a continuación se realiza en dos etapas :la primera en la que se analiza cada una de las mezclas de concreto (concreto patrón y concreto con aditivo) para los diferentes métodos de curado utilizados y la segunda que analiza según el método de curado utilizado en todas las mezclas generadas.

Además se va a seguir la siguiente nomenclatura :



1. Análisis según el tipo de mezcla:

- En el Concreto patrón.

La variación de la resistencia a compresión del concreto patrón (P - 45, cuya relación $a/c=0.45$) para diferentes métodos de curado en función de la edad (1, 3,7,28 días), muestra que el curado húmedo (A), posee la resistencia más alta en casi todas las edades, por ejemplo : a la edad de 28 días $P-45-A = 354.4 \text{ kg/cm}^2$, $P-45-B = 343.2 \text{ kg/cm}^2$ y $P-45-C = 340.9 \text{ kg/cm}^2$, esto era de esperarse debido a que el curado húmedo es el método de curado más efectivo, con respecto al curado al ambiente y utilizando curador químico "Antisol".

Además se puede observar en el gráfico 5.1.2.1c que la resistencia de la mezcla de concreto patrón P-45, no presenta una gran variación de la resistencia durante todo el periodo de curado (0 a 28días) para los diferentes métodos de curado (A, B y C), esta variación entre el mayor y menor valor obtenido por el método de curado para 1, 3, 7 y 28 días es de 5 kg/cm^2 , 9.4 kg/cm^2 , 25.7 kg/cm^2 y 13.5 kg/cm^2 respectivamente.



En el Concreto con aditivo.

a. Para una dosificación de aditivo de 0.8% en peso de cemento

La variación de la resistencia a compresión del concreto con aditivo (CA-0.8%, cuya relación $a/c = 0.32$) para diferentes métodos de curado en función de la edad (1, 3, 7, 28 días), muestra que el curado húmedo (A), posee la resistencia más alta durante todo el periodo de curado, por ejemplo : a la edad de 28 días CA-0.8%-A = 529.0 kg/cm², CA-0.8%-B = 498.0 kg/cm² y CA-0.8%-C = 517.9 kg/cm², esto era de esperarse debido a que el curado húmedo es el método de curado más efectivo, con respecto al curado al ambiente y utilizando curador químico "Antisol".

También se puede observar que los valores obtenidos para el concreto CA-0.8% son mayores comparados con el concreto patrón (P-45)

Además se puede observar en el gráfico 5.1.2.1.d que la resistencia de la mezcla CA-0.8%, presenta una gran variación de la resistencia durante todo el periodo de curado (0 a 28 días) para los diferentes métodos de curado (A, B y C), esta variación entre el mayor (curado húmedo) y menor valor (curado químico o curado al ambiente) obtenido por el método de curado para 1, 3, 7 y 28 días es de : 100 kg/cm², 56.6 kg/cm², 23.7 kg/cm² y 31.0 kg/cm² respectivamente.

b. Para una dosificación de aditivo de 1.4% en peso de cemento

La variación de la resistencia a compresión del concreto con aditivo (CA-1.4%, cuya relación $a/c = 0.31$) para diferentes métodos de curado en función de la edad (1, 3, 7, 28 días), muestra que el curado húmedo (A), posee la resistencia más alta durante todo el periodo de curado, por ejemplo : a la edad de 28 días CA-1.4%-A = 558.9 kg/cm², CA-1.4%-B = 553.0 kg/cm² y CA-1.4%-C = 526.6 kg/cm², esto era de esperarse debido a que el curado húmedo es el método de curado más efectivo, con respecto al curado al ambiente y utilizando curador químico "Antisol".

Además se puede observar en el gráfico 5.1.2.1.e. que la resistencia de la mezcla CA-1.4%, presenta una regular variación de la resistencia durante todo el periodo de curado (0 a 28 días) para los diferentes métodos de curado (A, B y C), esta variación entre el mayor (curado húmedo) y menor valor (curado químico o curado al ambiente) obtenido por el método de curado para 1, 3, 7 y 28 días es de : 33.2 kg/cm², 85.8 kg/cm², 70.4 kg/cm² y 30.3 kg/cm² respectivamente.

c. Para una dosificación de aditivo de 2.0% en peso de cemento

La variación de la resistencia a compresión del concreto con aditivo (CA - 2.0%, cuya relación $a/c = 0.29$) para diferentes métodos de curado en función de la edad (1, 3, 7, 28 días), muestra que el curado húmedo (A), presenta una variación aleatoria durante todo el periodo de curado siendo la resistencia a la edad de 28 días CA -2.0%-A = 600.0 kg/cm², CA - 2.0%-B = 594.0 kg/cm² y CA - 2.0%-C = 570.8 kg/cm², esto era de esperarse debido a que el curado húmedo es el método de curado más efectivo, con respecto al curado al ambiente y utilizando curador químico "Antisol".

Además se puede observar en el gráfico 5.1.2.1.f. que la resistencia de la mezcla CA - 2.0%, presenta poca variación de la resistencia durante todo el periodo de curado (0 a 28 días) para los diferentes métodos de curado (A, B y C), esta variación entre el mayor y menor valor obtenido por el método de curado para 1, 3, 7 y 28 días es de : 48.5 kg/cm², 31.6 kg/cm², 40.0 kg/cm² y 29.2 kg/cm² respectivamente.

2. Según el método de curado utilizado:

- Curado Húmedo o Curado patrón

Como se puede notar la resistencia a compresión de la mezcla patrón (P-45) obtuvo los valores más bajos con respecto al concreto con aditivo (CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0%). Además las mezclas generadas a partir del concreto patrón con la adición de aditivo en diferentes porcentajes en peso de cemento (CA - 0.8%, CA-1.4% y CA-2.0%), presentaron un desarrollo de la resistencia inicialmente similar pero esta diferencia se va acrecentando conforme transcurre el



periodo de curado hasta diferenciarse notablemente, de esta manera la variación entre el menor y mayor valor obtenido en las mezclas con aditivo a la edad de 1,3,7 y 28 días son de : 16.2 kg/cm², 53.1 kg/cm², 58.7 kg/cm² y 71.0 kg/cm² respectivamente.

En la gráfica 5.1.2.1.g. se puede observar que la mezcla CA-2.0% es la que tuvo una ganancia de resistencia más lenta entre 0-7 días de curado, mientras que su ganancia de resistencia fue más rápida en el periodo de 7-28 días de curado.

- Curado al ambiente o expuesto al aire

Podemos observar que la resistencia a compresión de las mezclas generadas a partir del concreto patrón (P-45) con la adición de aditivo en diferentes porcentajes en peso de cemento (CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0%) que fueron curadas al ambiente por 1, 3,7,28 días, presentaron un desarrollo de la resistencia ligeramente alto pero esta diferencia se va acrecentando conforme transcurre el periodo de curado hasta diferenciarse notablemente, de esta manera la variación entre el menor y mayor valor de las mezclas con aditivo a la edad de 1,3,7 y 28 días son de : 26.7 kg/cm², 15.4 kg/cm², 71.4 kg/cm² y 96.0 kg/cm² respectivamente.

También se puede observar en la gráfica 5.1.2.1.h. que las mezclas con aditivo tuvieron un desarrollo de la resistencia aleatorio durante los 0-7 días de curado, siendo uniforme durante el periodo de 7-28 días

- Curado Químico, utilizando una capa del curador Antisol

La variación de la resistencia a compresión de las mezclas con aditivo (CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0%) a la que se utilizó el curador químico Antisol por 1, 3,7,28 días, presentaron un desarrollo de la resistencia va en concordancia con la dosificación de aditivo, ya que a mayor dosificación de aditivo mayor es la resistencia y esto se mantiene durante todo el periodo de curado, de esta manera la variación entre el menor y mayor valor de las mezclas con aditivo a la edad de 1,3,7 y 28 días son de : 104.8 kg/cm², 57.0 kg/cm², 37.2 kg/cm² y 52.9 kg/cm² respectivamente.

6.2.1.1. Análisis Comparativo de la resistencia de las mezclas de concreto (P-45, CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0%) con respecto al concreto patrón y curado patrón.

Cuadro 5.1.2.1.1.a : Resistencia a la compresión del concreto, como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto patrón y curado patrón

En este cuadro se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a compresión en cada una de las mezclas (P-45, CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0%) para los diferentes métodos de curado (A, B y C), expresándolos como porcentaje de la resistencia obtenida en la mezcla patrón (P-45) y curado patrón (A: curado húmedo), a la edad de 1, 3, 7 y 28 días. A continuación se presenta el análisis realizado:

- En el Concreto patrón .-

La variación porcentual de la resistencia a compresión de la mezcla patrón (P - 45, cuya relación a/c= 0.45) para diferentes métodos de curado en función de la edad (1,3,7,28 días), como se puede observar el curado húmedo (A) representa el 100% para cada una de las edades establecidas, en el curado al ambiente (B) presenta 100.5%, 98.5%,97.0% y 96.8%, mientras que para el curado químico (C) tiene 98.8%, 96.8%, 105.2 % y 96.2% respectivamente.(ver gráfica 5.1.2.1.1.b)

Además se puede observar que en la mezcla P-45 para los diferentes métodos de curado (A, B y C) presenta una variación que oscila entre 1.7% y 8.2% durante todo el periodo de curado (0



a 28 días), así por ejemplo , a los 28 días en la mezcla P-45-A=100%, P-45-B=96.8%, P-45-C=96.2%, siendo la variación de resistencia 3.8% del curado químico y de 3.2% del curado al ambiente menos que el concreto que fue sometido a un curado húmedo.

De todo lo anteriormente mencionado se puede decir que la variación de resistencia por el uso de un curador químico oscila en 4%, mientras que en el curado al ambiente es de 3% menos que el concreto normal de relación $a/c=0.45$ (P-45)

En el concreto con aditivo

a. Para una dosificación de aditivo de 0.8% en peso de cemento

La variación porcentual de la resistencia a compresión de la mezcla (CA-0.8%, cuya relación $a/c=0.32$) para diferentes métodos de curado en función de la edad (1,3,7,28 días), como se puede notar el curado húmedo (A) tiene 58.4%, 59.3%, 52.1% y 49.3%, el curado al ambiente (B) presenta 52.5%, 50.0%, 46.4% y 40.5%, mientras que para el curado químico (C) tiene 23.7%, 40.2%, 44.5% y 46.1% más que el concreto patrón y curado patrón respectivamente para cada una de las edades establecidas. (ver gráfica 5.1.2.1.1.c)

Como se puede observar el curado húmedo (A) es el que obtuvo mayores porcentajes para una edad de 0 – 28 días, esto era de esperarse debido a que el curado húmedo es el método de curado más efectivo, con respecto al curado al ambiente y utilizando curador químico "Antisol".

b. Para una dosificación de aditivo de 1.4% en peso de cemento

La variación porcentual de la resistencia a compresión de la mezcla (CA – 1.4%, cuya relación $a/c=0.31$) para diferentes métodos de curado en función de la edad (1,3,7,28 días), como se muestra el curado húmedo (A) tiene 59.5%, 77.1%, 70.8% y 57.1%, el curado al ambiente (B) presenta 48.0%, 48.3%, 64.5% y 56.0%, mientras que el curado químico (C) tiene 58.7%, 55.9%, 48.4% y 48.6% más que el concreto patrón y curado patrón respectivamente para cada una de las edades establecidas. (ver gráfica 5.1.2.1.1.d)

c. Para una dosificación de aditivo de 2.0% en peso de cemento

La variación porcentual de la resistencia a compresión de la mezcla (CA – 2.0%, cuya relación $a/c=0.29$) para diferentes métodos de curado en función de la edad (1,3,7,28 días), como se puede observar el curado húmedo (A) tiene 53.9%, 64.1%, 62.7% y 69.3%, el curado al ambiente (B) presenta 43.3%, 53.4%, 69.2% y 67.6%, mientras que el curado químico (C) tiene 60.1%, 59.4%, 56.4% y 61.1% más que el concreto patrón y curado patrón respectivamente para cada una de las edades establecidas. (ver gráfica 5.1.2.1.1.d)

6.2.1.2. Análisis comparativo de la resistencia de las mezclas de concreto (P-45, CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0%) con respecto al curado patrón.

Cuadro 5.1.2.1.2.a : Resistencia a la compresión del concreto, como porcentaje de la resistencia obtenida por el curado patrón

En este cuadro se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a compresión en cada una de las mezclas (P-45, CA –0.8%, CA – 1.4% y CA – 2.0%) para los diferentes métodos de curado (A, B y C), expresándolos como porcentaje de la resistencia obtenida en el concreto patrón (P-45) , a la edad de 1, 3, 7 y 28 días. - A continuación se presenta el análisis realizado:



En el Concreto patrón.

Se puede observar en el concreto patrón (P-45), que el desarrollo de la resistencia para el curado al ambiente (B) presenta una tendencia decreciente siendo a los 28 días de 3% menos que el curado húmedo, mientras que en el curado químico no presenta una tendencia definida (creciente o decreciente), si no más bien presenta valores altos y bajos durante todo el periodo de curado, siendo la resistencia a los 28 días 4% menos que el curado húmedo o curado patrón. (ver gráfica 5.1.2.1.2.b)

En el concreto con aditivo

a. *Para una dosificación de aditivo de 0.8% en peso de cemento.*

Se puede observar en el concreto con aditivo (CA-0.8), que el desarrollo de la resistencia para el curado al ambiente (B) no presenta una tendencia definida (creciente o decreciente), si no más bien presenta valores altos y bajos durante todo el periodo de curado, siendo la resistencia a los 28 días 6% menos que el curado húmedo mientras que el curado químico presenta una tendencia creciente siendo a los 28 días de 2% menos que el curado húmedo o curado patrón. (ver gráfica 5.1.2.1.2.c)

b. *Para una dosificación de aditivo de 1.4% en peso de cemento*

Se puede observar en el concreto con aditivo (CA-1.4), que el desarrollo de la resistencia para el curado al ambiente (B) y el curado químico, no presenta una tendencia definida (creciente o decreciente), si no más bien presenta valores altos y bajos durante todo el periodo de curado, siendo la resistencia a los 28 días en el curado al ambiente de 1% menos que el curado húmedo o curado patrón, mientras que en el curado químico es de 5% menos que el curado húmedo o curado patrón. (ver gráfica 5.1.2.1.2.d)

c. *Para una dosificación de aditivo de 2.0% en peso de cemento*

Se puede observar en el concreto con aditivo (CA-2.0), que el desarrollo de la resistencia para el curado al ambiente (B) no presenta una tendencia definida (creciente o decreciente), si no más bien presenta valores altos y bajos durante todo el periodo de curado, siendo la resistencia a los 28 días 1% menos que el curado húmedo mientras que el curado químico presenta una tendencia decreciente siendo a los 28 días de 5% menos que el curado húmedo o curado patrón. (ver gráfica 5.1.2.1.2.e)

6.2.1.3. Análisis comparativo de la resistencia de las mezclas de concreto (P-45, CA-0.8%, CA-1.4% y CA-2.0%) con respecto a la resistencia obtenida a los 28 días en el concreto.

Cuadro 5.1.2.1.3.a : Resistencia a la compresión del concreto, expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto a los 28 días

En este cuadro se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a compresión de cada una mezclas (P-45, CA -0.8%, CA - 1.4% y CA - 2.0%) para los diferentes métodos de curado (A, B y C), expresándolos como porcentaje de la resistencia obtenida a los 28 días en el concreto, a la edad de 1, 3, 7 y 28 días. A continuación se presenta el análisis realizado:

- En el Concreto patrón.

La variación porcentual de la resistencia a compresión de la mezcla patrón (P-45, cuya relación $a/c = 0.45$) para diferentes métodos de curado en función de la edad (1,3,7,28 días), como se puede observar, que para los diferentes tipos de curado a la edad de 1 día de ensayo tuvieron más del 70% de la resistencia obtenida a los 28 días. (ver gráfica 5.1.2.1.3.b)



- En el concreto con aditivo

a. Para una dosificación de aditivo de 0.8% en peso de cemento.

La variación porcentual de la resistencia a compresión del concreto con aditivo (CA-0.8%, cuya relación $a/c= 0.32$) para diferentes métodos de curado en función de la edad (1,3,7,28 días), como se puede observar el concreto que fue curado utilizando el método de curado (A y B) obtuvieron a la edad de 1 día de ensayo más del 70 % de la resistencia obtenida a los 28 días, mientras que el método de curado C solo logró superarlo a los 3 días (ver gráfica 5.1.2.1.3.c)

b. Para una dosificación de aditivo de 1.4% en peso de cemento

La variación porcentual de la resistencia a compresión del concreto con aditivo (CA-1.4%, cuya relación $a/c= 0.31$) para diferentes métodos de curado en función de la edad (1,3,7,28 días), como se puede observar el concreto que fue curado utilizando el método de curado (A, B y C) obtuvieron a la edad de 1 día de ensayo más del 70 % de la resistencia obtenida a los 28 días. (ver gráfica 5.1.2.1.3.d)

c. Para una dosificación de aditivo de 2.0% en peso de cemento

La variación porcentual de la resistencia a compresión del concreto con aditivo (CA - 2.0%, cuya relación $a/c= 0.29$) para diferentes métodos de curado en función de la edad (1,3,7,28 días) como se puede observar el concreto que fue curado utilizando el método de curado (A, B y C) obtuvieron a la edad de 1 día de ensayo más del 70 % de la resistencia obtenida a los 28 días. (ver gráfica 5.1.2.1.3.e)

6.2.2. Resistencia a Tracción por compresión diametral.

Cuadro 5.1.2.2.a : Resumen del ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto

En el presente cuadro se muestra los resultados obtenidos en el concreto patrón (P-45) para los diferentes métodos de curado (A: Curado húmedo, B : curado al ambiente y C : Curado Químico) a la edad de 28 días

Gráfica 5.1.2.2.b : Resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto patrón de relación $a/c=0.45$ (P-45) y del concreto con aditivo (CA-0.8%, CA-1.4% y CA2.0%), sometido a diferentes tipos de curado.

En este gráfico se muestra la variación de la resistencia a tracción por compresión diametral de la mezcla patrón (P-45) y de las generadas a partir de ella con la adición de aditivo en diferentes porcentajes en peso de cemento (CA - 0.8%, CA - 1.4% y CA - 2.0%), para cada uno de los métodos de curado utilizado , como se puede notar el desarrollo de la resistencia del concreto con aditivo son mayores con respecto al concreto patrón , esto era de esperarse debido a las relaciones a/c más bajas que presentan estas mezclas.

Gráfica 5.1.2.2.c : Resistencia a la tracción por compresión diametral del Concreto Patrón (P-45) y Concreto con Aditivo (CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%) sometido a los diferentes métodos de curado expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por la probeta sometida a curado húmedo

En éste gráfico se puede observar las mezclas con 0.8,1.4 y 2.0% de aditivo que fueron curadas con una capa de curador tuvieron 97%, 96% y 92% de resistencia con respecto a la probeta patrón (curado húmedo), mientras que aquellas que no se le realizó curado alguno presentaron 95%,93% y 90% de resistencia con respecto a la probeta patrón(curado húmedo), hallándose que en ambos



métodos se obtuvieron resistencias similares, siendo la diferencia de resistencia de 2% según el método de curado utilizado

Para el ensayo de resistencia a tracción por compresión diametral, cuando se utiliza el curador químico la eficiencia de la resistencia disminuye de 3% a 8% con respecto a la probeta patrón (curado húmedo), conforme aumenta la dosificación de aditivo de 0.8% a 2.0% respectivamente.

6.2.3. Módulo de Elasticidad.

Cuadro 5.2.2.a: Resumen del ensayo de módulo de elasticidad del concreto

En el presente cuadro se muestra los resultados obtenidos en el concreto patrón (P-45) y en el concreto con aditivo (CA-0.8%, CA - 1.4% y CA - 2.0%) para los diferentes métodos de curado (A: Curado húmedo, B : curado al ambiente y C : Curado Químico) a la edad de 28 días

Gráfica 5.2.2.b : Módulo de elasticidad del concreto patrón de relación $a/c=0.45$ (P-45) y del concreto con aditivo (CA-0.8%, CA-1.4% y CA2.0%), sometido a diferentes tipos de curado.

En este gráfico se muestra la variación del módulo de elasticidad de la mezcla patrón (P-45) y de las generadas a partir de ella con la adición de aditivo en diferentes porcentajes en peso de cemento (CA - 0.8%, CA - 1.4% y CA - 2.0%), para cada uno de los métodos de curado utilizado, como se puede notar el desarrollo del módulo de elasticidad en el concreto con aditivo son mayores con respecto al concreto patrón, esto era de esperarse debido a las relaciones a/c más bajas que presentan estas mezclas.

Gráfica 5.2.2.d : Módulo de Elasticidad del Concreto Patrón (P-45) y Concreto con Aditivo (CA-0.8%, CA-1.4%, CA-2.0%) sometido a los diferentes métodos de curado expresado como porcentaje del módulo de elasticidad obtenido por la probeta sometida a curado húmedo

En este gráfico se puede observar que en el ensayo de módulo de elasticidad para las mezclas con 0.8, 1.4 y 2.0% de aditivo que son curadas con una capa de curador fueron de 171.9%, 94.3% y 76% con respecto al curado patrón. En el caso de las mezclas que no recibieron curado alguno los valores obtenidos fueron 100%, 87% y 74% con respecto al curado patrón (curado húmedo). Para los dos métodos de curado utilizado el módulo de elasticidad es alto para la mezcla con la menor dosificación, pero conforme aumenta la dosis de aditivo el valor del módulo de elasticidad va disminuyendo.

Capítulo VII:

Análisis de Costos



El presente capítulo tiene por objetivo realizar un análisis de costos a los métodos de curado estudiados en la presente investigación, con el fin de establecer la ventaja económica que se tiene por la utilización de estos métodos.

A continuación se presentan los cálculos correspondientes del análisis de costo para cada uno de los métodos estudiados.

1. Procedimiento de curado por vía húmeda

Costo

Agua	:	9.00 soles/m ³
Peón	:	5.50 soles/hora

Mano de Obra

Para un área de 200m² se requiere de 1peón, el cual se demora 7 horas por día

Se considera 7 días de curado

$$M.O. = 7\text{días} \times 7\text{horas} \times 5.50 = S/. 269.50$$

Material por m²

Descripción	Und	Long	Ancho	Alto	Volumen
Agua	m ³	20.00	10.00	0.005	1.00

$$\text{Costo del agua por m}^3 = 1.0 \times 9 = S/. 9.00$$

$$\text{Costo Total (material+ M.O + 5\%M.O)} = S/. 291.98$$

$$\text{Costo por metro cuadrado (curado con agua)} = S/. 1.46$$

2. Procedimiento de curado por la aplicación de una capa de curador químico Antisol

Costo

Curador Antisol	:	28.00 soles/galón
Rociador	:	5.00 soles/hora
Peón	:	5.50 soles/hora

Material por m²

$$\text{Rendimiento : Curador Antisol} = 19.50 \text{ m}^2/\text{galón}$$

$$\text{Curador Antisol: } \frac{\text{Area}}{\text{Rendimiento}} = \frac{200.00}{19.5} = 10.26 \text{ gln}$$

$$\text{Costo del curador : } 10.26 \text{ gln} \times 28.00 \text{ soles/gln} = S/. 287.28$$



Mano de Obra

El tiempo necesario para realizar el curado de 200m² es de 4 horas

M.O. = 4horas x S/. 5.50 = S/. 22.00

Equipo

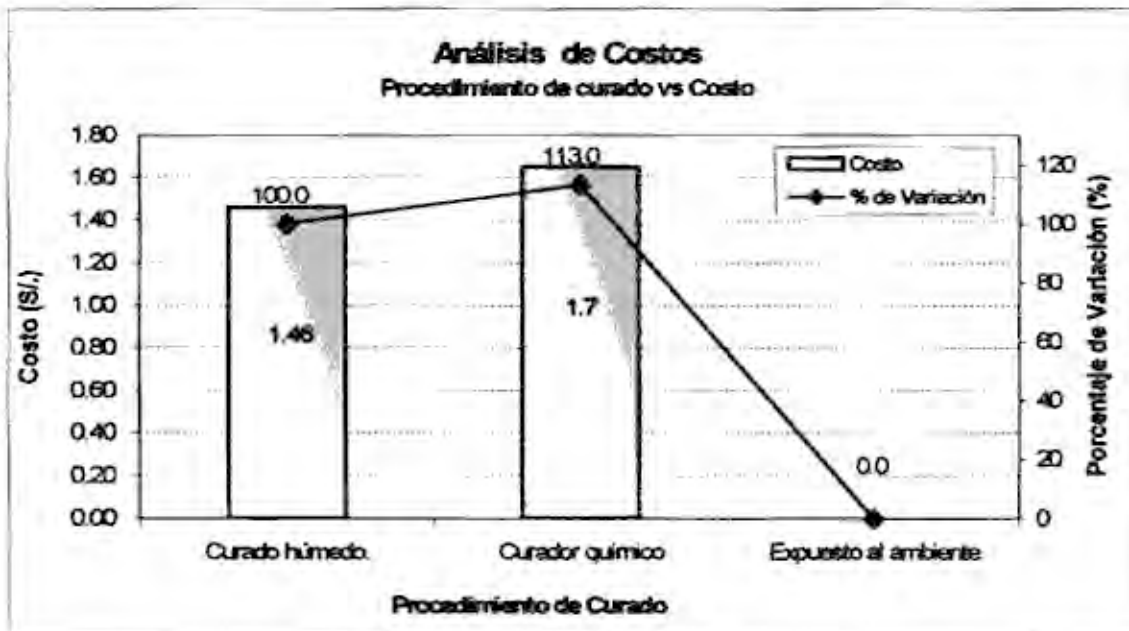
H.M. = 4 horas x 5.00 soles/hora= S/.20.00

Costo Total (material+ M.O+Equipo+5%M.O) = S/. 330.38

Costo por metro cuadrado (curado con una capa de curador) = S/. 1.65

Costo por m² para los diferentes procedimientos de curado

Procedimiento de curado	Costo por m2 de área curada	En % respecto al patrón
Curado por inmersión en agua	S/. 1.46	100.0%
Curado con una capa de curador	S/. 1.65	113.0%
Expuesto al medio ambiente	S/. 0.00	0.0%





Conclusiones y Recomendaciones



Se presenta a continuación las conclusiones y recomendaciones a las que se llegó luego de realizar el análisis de los resultados obtenidos en el capítulo 7, tanto en concreto fresco como en concreto endurecido, en el primer caso para analizar los efectos que produce el aditivo superplastificante Sika Viscocrete 20HE, en el segundo caso para evaluar las resistencias obtenidas y como afecta la aplicación de diferentes métodos de curado a esta.

Los diseños de mezcla de concreto que se realizaron fueron con la relación $a/c = 0.45$ (concreto patrón), con una relación de agregado $A/P = 45 / 55$, a partir de la mezcla patrón se generó los concretos de alto desempeño utilizando tres dosificaciones de aditivo Sika Viscocrete 20HE (0.8, 1.4 y 2.0% en peso de cemento que equivalen a 321.25, 545.22 y 799.83 cm^3 por bolsa de cemento).

Teniendo en cuenta la influencia del curado sobre la calidad del concreto, se ensayaron las siguientes condiciones de curado:

- Tipo A : Curado Patrón o Curado Húmedo - sumergido en agua.
- Tipo B : Curado al ambiente, expuesto a un ambiente, sin ningún tipo de curado.
- Tipo C : Curado Químico, en la que se aplicó una capa de curador químico "Antisol" de la firma "Sika".

La presente investigación fue realizada en los meses de agosto, septiembre y octubre con una temperatura que osciló entre 18°C y 20°C durante el día.

CONCLUSIONES

1. Las mezclas de concreto a las cuales se le adicionó aditivo en 0.8, 1.4 y 2.0% del peso de cemento permitieron obtener una reducción del agua de diseño en 22%, 25% y 27% respectivamente, a pesar de la alta reducción de agua, la fluidez de las mezclas de concreto se va incrementando conforme se aumenta la dosificación de aditivo.
2. El Peso unitario del concreto fresco con aditivo, tiene una tendencia a aumentar hasta el 105%, con respecto al patrón, conforme se incrementa la dosificación del aditivo de 0.8% a 2.0% del peso de cemento.
3. El contenido de aire en las mezclas con dosificación de aditivo en 0.8, 1.4 y 2.0% en peso de cemento fue de 81%, 71% y 57% con respecto al patrón, observándose que conforme aumenta la dosificación de aditivo el contenido de aire va disminuyendo proporcionalmente.
4. El índice de consistencia (mesa de flujo) para 0.8, 1.4 y 2.0% de aditivo respectivamente, varió de 116%, 118% y 119% con respecto al patrón, en una segunda medida de la consistencia se obtuvo valores de 154%, 163% y 174%, esto es debido a que el concreto continuó fluyendo hasta 2 minutos después de iniciado el ensayo.
5. El tiempo de fraguado inicial fue de 68%, 85% y 115% con respecto al patrón, mientras que en el tiempo de fraguado final se obtuvo 81%, 95% y 111% con respecto al patrón, para dosis de aditivo de 0.8%, 1.4% y 2.0% en peso cemento respectivamente. Se ha determinado que conforme aumenta la dosis de aditivo el tiempo de fraguado se acelera, pero para dosis de aditivo del 2% el tiempo de fraguado se retarda. (Ref. Gráfica 5.1.1.5.b y 5.1.1.5.c)



6. Las mezclas de concreto que fueron sometidas a diferentes procesos de curado obtuvieron una resistencia a compresión a la edad de 28 días con respecto al curado patrón de :

MEZCLA	TIPO DE CURADO	R. Comp.
		28d
Concreto Patrón		
P - 45	A: Húmedo	100.0
	B : al Ambiente	96.6
	C : con curador	96.2
Concreto con Aditivo		
CA - 0.8%	A: Húmedo	100.0
	B : al Ambiente	94.1
	C : con curador	97.9
CA - 1.4%	A: Húmedo	100.0
	B : al Ambiente	89.3
	C : con curador	94.5
CA - 2.0%	A: Húmedo	100.0
	B : al Ambiente	99.0
	C : con curador	95.1

El curado del concreto con aditivo utilizando el curador químico con una capa permite alcanzar resistencias entre 98% - 95%, con respecto al curado patrón.

Cuando se utiliza el curador químico disminuye la eficiencia de la resistencia hasta un 5% conforme aumenta la dosificación de aditivo.

Cuando no se realiza ningún tipo de curado (curado al ambiente) en las mezclas de concreto con aditivo se tienen pérdidas en la resistencia de 1% - 6%

7. En el ensayo de resistencia a tracción por compresión diametral, las mezclas con 0.8, 1.4 y 2.0% de aditivo que fueron curadas con una capa de curador tuvieron 97%, 96% y 92% de resistencia con respecto a la probeta patrón (curado húmedo), mientras que aquellas que no se le realizó curado alguno presentaron 95%, 93% y 90% de resistencia con respecto a la probeta patrón (curado húmedo), hallándose que en ambos métodos se obtuvieron resistencias similares, siendo la diferencia de resistencia de 2% según el método de curado utilizado.

Para el ensayo de resistencia a tracción por compresión diametral, cuando se utiliza el curador químico la eficiencia de la resistencia disminuye de 3% a 8% con respecto a la probeta patrón (curado húmedo), conforme aumenta la dosificación de aditivo de 0.8% a 2.0% respectivamente.

8. Los valores obtenidos en el ensayo de módulo de elasticidad para las mezclas con 0.8, 1.4 y 2.0% de aditivo que son curadas con una capa de curador fueron de 171.9%, 94.3% y 76% con respecto al curado patrón. En el caso de las mezclas que no recibieron curado alguno los valores obtenidos fueron 100%, 87% y 74% con respecto al curado patrón (curado húmedo). Para los dos métodos de curado utilizado el módulo de elasticidad es alto para la mezcla con la menor dosificación, pero conforme aumenta la dosis de aditivo el valor del módulo de elasticidad va disminuyendo. (Ref. Gráfica 5.1.2.2.d)

En resumen:

De la investigación realizada acerca de la influencia de los métodos de curado en los especímenes de concreto de alto desempeño se ha observado que :

- El curador químico, ha cumplido con su función de proteger al concreto de la pérdida de humedad, permitiendo alcanzar resistencia que oscilan entre 98% - 95% en las mezclas de concreto con aditivo (0.8% a 2% de aditivo), además los valores logrados se encuentran



dentro del rango de resistencia hallado en investigaciones realizadas utilizando otros curadores (curasol, curadikret a-1-D, etc).

Además también se debe recalcar que con el curador químico se obtiene una ligera mejora con respecto a los demás curadores, pues se ha observado que la tendencia es de alcanzar una resistencia del 90% al 95% con respecto a la probeta patrón, siendo la ganancia de resistencia mayor para las relaciones a/c más alta, pero para el caso del curador en estudio se obtuvo porcentajes de resistencia mayores para relaciones a/c bajas (0.32, 0.31, 0.29 que corresponde para concretos con dosis de aditivo de 0.8, 1.4 y 2%)

El método de curado al ambiente cubierto, nos ha permitido encontrar que para relaciones a/c muy bajas, aparentemente no sería necesario curar el concreto ya que los valores de resistencia alcanzados (94% - 99%) son cercanos a la resistencia de la probeta patrón (curado húmedo), esto resultados se debería a las condiciones del medio a la que estuvieron expuestas, ya que los ensayos se realizaron durante los meses de agosto, septiembre, octubre, con una temperatura que osciló entre los 18°C - 20°C y humedad relativa alta, además de estar expuestos en un ambiente con techo. Todas estas condiciones propiciaron que no existiera pérdida de humedad en la probeta, y que por el contrario la humedad existente en el medio ambiente favoreció el desarrollo de la resistencia.

RECOMENDACIONES

1. La aplicación del curador es más efectiva con el uso de rociadores mecánicos (dispositivo atomizador), ya que permite una distribución más uniforme y una mayor productividad, aplicando el curador tan pronto como la superficie del concreto esté endurecido y previo curado.
2. En la presente investigación se obtuvo aparentemente que no es necesario el uso del curador químico debido a las diferencias mínimas que existe con el curado expuesto al ambiente, esta investigación se realizó cuando la temperatura estuvo entre 18°C - 20°C, es por ello que se recomienda realizar investigaciones de la influencia que tiene los métodos de curado en mezclas cuya relaciones a/c son 0.45 y/o 0.40, y que además son sometidas a temperaturas diferentes de 20°C y humedades relativas menores, a fin establecer las diferencias con la investigación realizada.
3. Es necesario realizar investigaciones utilizando otros métodos de curado (utilizando coberturas húmedas, como el yute, otros compuesto selladores, etc) tanto en laboratorio como en obra, a fin de establecer su eficiencia y realizar comparaciones con respecto a los ya estudiados.
4. Cuando se aplica el curador químico sobre superficies en las cuales se deberá adicionar o adherir material de acabado con base de concreto, se debe realizar un lijado previo.
5. En tiempos de lluvia proteger el curador químico que se ha aplicado al concreto, por lo menos hasta que seque. Deberá también protegerse del tráfico para evitar su deterioro y reducir la impermeabilidad.
6. Se recomienda que en las mezclas con el aditivo Sika Viscocrete 20HE, debido a la alta reducción del agua de diseño necesitan un mayor tiempo de mezclado el cual varía de 5 a 7 minutos, con el fin de obtener una adecuada combinación entre el cemento, agregados y aditivo, ya que para tiempos de mezclado menores se obtiene una mezcla grumosa.



Bibliografía



BIBLIOGRAFÍA

- [1]
TITULO : **TECNOLOGÍA DEL CONCRETO**
AUTOR : A. M. Neville, J. J. Brooks
LUGAR Y AÑO : México / 1998
BIBLIOTECA : UNI - FIC
CONTENIDO : Estudio del Concreto
- [2]
TITULO : **NATURALEZA Y MATERIALES DEL CONCRETO**
AUTOR : Enrique Rivva Lopez
LUGAR Y AÑO : Lima - Perú / 1998
BIBLIOTECA : Personal
CONTENIDO : Estudio de los Materiales del Concreto
- [3]
TITULO : **TECNOLOGÍA DEL CONCRETO**
AUTOR : Enrique Rivva L., Juan Harman I., Enrique Pasquel C., Dante Badoino M., Alfredo Romero U.
LUGAR Y AÑO : Lima - Perú / 1998
BIBLIOTECA : UNI - FIC
CONTENIDO : Estudio del Concreto
- [4]
TITULO : **CEMENTOS - BOLETINES TECNICOS**
AUTOR : ASOCEM
LUGAR Y AÑO : Lima - Perú / 1998
BIBLIOTECA : Personal
CONTENIDO : Boletines sobre Concreto
- [5]
TITULO : **ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL CURADOR QUÍMICO SOBRE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO - Tesis**
AUTOR : Rojas Ovalle, Vladimir
LUGAR Y AÑO : Lima - Perú / 1995
BIBLIOTECA : FIC - UNI
CONTENIDO : Estudio del Concreto utilizando un curador Químico "Antisol Blanco"
- [6]
TITULO : **CURADO DEL CONCRETO - Tesis**
AUTOR : Soto Barra, Elizabeth
LUGAR Y AÑO : Lima - Perú / 1995
BIBLIOTECA : FIC - UNI
CONTENIDO : Estudio de los diferentes métodos de curado del concreto
- [7]
TITULO : **INFLUENCIA DEL ADITIVO CURADOR CURASOL SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO DE BAJA RESISTENCIA, UTILIZANDO CPT I - Tesis**
AUTOR : Cornejo Cornejo, Edgar Wilfredo.
LUGAR Y AÑO : Lima - Perú / 1997
BIBLIOTECA : FIC - UNI
CONTENIDO : Curado del Concreto para relaciones a/c 0.60, 0.65 y 0.70, utilizándose cuatro métodos de curado.



- [8]
TITULO :EFECTOS DEL ADITIVO CURADOR SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO, UTILIZANDO CPT I - Tesis
AUTOR :Ancajima Meléndez, Edgar
LUGAR Y AÑO : Lima - Perú / 1995
BIBLIOTECA :FIC - UNI
CONTENIDO :Curado del Concreto con el aditivo curador Curasol B para relaciones a/c de 0.40, 0.45, 0.50 y 0.55.
- [9]
TITULO :INFLUENCIA DE UN ADITIVO CURADOR DE APLICACIÓN EXTERNA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO DE MEDIANA A BAJA RESISTENCIA CON CPT I - SOL - Tesis
AUTOR :Ramos Cupe, Pedro Pablo
LUGAR Y AÑO : Lima - Perú / 2000
BIBLIOTECA :FIC - UNI
CONTENIDO :Curado del Concreto con el aditivo curador Curadikret -A-1D, para relaciones a/c de 0.60, 0.65 y 0.70.
- [10]
TITULO :ESTUDIO DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA Y ALTA PERFORMANCE CON LA INCORPORACIÓN DE SÍLICE EN POLVO Y UN ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE - Tesis
AUTOR :Alarcón Presentación, José Luis
LUGAR Y AÑO :Lima - Perú / 1997
BIBLIOTECA :FIC - UNI
CONTENIDO :Estudio del concreto utilizando sílice en Polvo distribuido por Química Suiza y el aditivo PSP - N2 de la firma PROCÓN, el diseño de mezclas es para una relación agua/cemento de 0.40
- [11]
TITULO :ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA EN COMPRESIÓN EN CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA DEBIDO AL CURADO EN LABORATORIO Y BAJO CONDICIONES DE OBRA - Tesis
AUTOR :Amaro Vicuña, Ivan
LUGAR Y AÑO :Lima - Perú / 2001
BIBLIOTECA :FIC - UNI
CONTENIDO :Tesis sobre la variación de la resistencia del concreto para diferentes condiciones de curado
- [12]
TITULO :DISEÑO DE MEZCLAS , METODO DEL AGREGADO GLOBAL Y MODULO DE FINURA PARA CONCRETOS DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA - Tesis
AUTOR :Cachay Huamán, Rafael
LUGAR Y AÑO :Lima - Perú / 1995
BIBLIOTECA :FIC - UNI
CONTENIDO :Diseño de mezcla de concretos utilizando el método del agregado global
- [13]
TITULO :PROCESSING OF HPC
AUTOR :Chiara F. Ferraris
REFERENCIA :National Institute of Standards and Technology
LUGAR Y AÑO :Florida - USA / 2000
BIBLIOTECA :Personal
CONTENIDO :Estudio del Concreto de Alto Desempeño



- [14]**
TITULO :REPORT : STATE OF ART THE HIGH PERFORMANCE CONCRETES
AUTOR :Paul Zia, Shuaib Ahmand, and Michael Leming
REFERENCIA :Federal Highway Administration
LUGAR Y AÑO :2000
BIBLIOTECA :Personal
CONTENIDO :Reporte del Estudio del Arte del Concreto de Alto Desempeño, Investigaciones realizadas de 1989 – 1994
- [15]**
TITULO :CURING OF HIGH PERFORMANCE CONCRETE:PHASE I STUDY
REFERENCIA :Building and Fire Research Laboratory
AUTOR :Nicholas Carino, Kenneth Meeks
LUGAR Y AÑO :USA - 2001
BIBLIOTECA :Personal
CONTENIDO :Curado del Concreto de Alto Desempeño : Fase I, las mezclas utilizadas fueron morteros de Concreto con relación w/cm entre 0.30 y 0.45 para periodos de curado de 1,3 y 7 días
- [16]**
TITULO :CURING OF HIGH PERFORMANCE CONCRETE:REPORT OF THE STATE OF THE ART
REFERENCIA :Building and Fire Research Laboratory National Institute Of Standards and Technology
AUTOR :Nicholas Carino, Kenneth Meeks
LUGAR Y AÑO :USA - 2001
BIBLIOTECA :Personal
CONTENIDO :Curado del Concreto de Alto Desempeño, definición, características análisis , requerimientos e investigaciones realizadas en diferentes países (EE.UU, Canadá, Francia, etc)
- [17]**
TITULO :AVANCES EN LA TECNOLOGÍA DEL CONCRETO
REFERENCIA :Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto
AUTOR :P. Kumar Mehta
LUGAR Y AÑO :Mexico - 2000
BIBLIOTECA :Personal
CONTENIDO :Investigaciones realizadas sobre los avances en la tecnología del concreto
- [18]**
TITULO :CURING OF HIGH PERFORMANCE CONCRETE:
REFERENCIA :HETEK (Højkvalitetsbeton – Entreprenarens Teknologi)
AUTOR :HETEK
LUGAR Y AÑO :Dinamarca – 1997
BIBLIOTECA :Personal
CONTENIDO :Curado del Concreto de Alto Desempeño con una relación w/c inferior a 0.45, se utilizaron cinco métodos de curado.