

# Estudio comparativo de las características físico-mecánicas de dos cementos comerciales Pórtland tipos 1 y 3

## Comparative study of physical and mechanical characteristics of types 1 and 3 commercial Portland cements

CLAUDIA MARITZA SANTOS BERNAL<sup>1</sup> - JOSÉ ALIRIO GUZMÁN ESPITIA<sup>2</sup> - MAYRA ALEJANDRA PÉREZ CÁRDENAS<sup>3</sup> - CAMILO ARTURO TORRES ÁLVAREZ<sup>4</sup> – NANCY TORRES CASTELLANOS<sup>5</sup>

1. Ingeniera civil. Especialista en Estructuras. Magíster en ingeniería Civil con énfasis en Estructuras.
2. Ingeniero civil. Especialista en Estructuras.
3. Ingeniera civil. Aspirante a maestría en Ingeniería Civil con énfasis en Estructuras.
4. Ingeniero civil. Especialista en Gerencia y en Estructuras.
5. Ingeniera civil. Magíster en Estructuras y doctora en Ciencia y Tecnología de Materiales.

clamasanber@yahoo.com - jalirioguz@yahoo.com - mayralejaperezc@hotmail.com -  
tcproyectoseingenieria@gmail.com - nancy.torres@escuelaing.edu.co

Recibido: 15/08/2017 Aceptado: 09/09/2017

Disponible en [http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones\\_revista](http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista)

### Resumen

En el presente artículo se evalúan algunas propiedades del concreto en estado fresco, endurecido y de durabilidad, con dos tipos de cemento (tipo 1 y tipo 3), donde la mitad de los especímenes se sometieron a curado en tanque de agua, mientras que los restantes se dejaron en un ambiente seco y bajo techo. Para el estado fresco se evaluaron la masa unitaria, contenido de aire, asentamiento y temperatura. Para el estado endurecido, la resistencia a la compresión y módulo elástico, en diferentes edades (7, 28 y 90 días). Y para la durabilidad se evaluaron la resistencia a los cloruros, carbonatación y permeabilidad al agua a 28 y 90 días, mientras que los datos de contracción del concreto se tomaron consecutivamente a lo largo del tiempo del estudio.

**Palabras claves:** resistencia, elasticidad, cloruro, carbonatación, permeabilidad y contracción.

### Abstract

This article evaluates some properties of fresh and hardened concrete, as well as its durability condition, with two different types of cement (Type 1 and Type 3), where half of the specimens have been cured in a water tank, while the rest were left in a dry, indoor environment. For the fresh state the unit mass, air content, settlement, and temperature were evaluated. For the hardened state, the compressive strength and the elastic modulus, at different ages (7, 28, and 90 days). And for durability, resistance to chlorides, carbonation, water permeability at 28 and 90 days was evaluated, while the concrete contraction data were taken consecutively along the trials.

**Keywords:** resistance, elasticity, chloride, carbonation, permeability and contraction.

## INTRODUCCIÓN

El cemento es considerado la materia prima más importante para el sector de la construcción. Se puede definir como una mezcla de arcilla molida y otros materiales calcificados en polvo, que después de un debido proceso adquiere propiedades adherentes. Existen varias clases de cementos, con diferentes propiedades, las cuales varían según los materiales y los procesos que se utilicen para su producción; sus propiedades y características varían, dependiendo del porcentaje de dosificación que se aplique de cada materia prima. A continuación se muestran las clases de cemento más comunes en Colombia y los usos (tabla 1).

**Tabla 1**  
Clasificación del tipo de cemento en Colombia

Cemento Pórtland	Uso
Tipo 1	En estructuras y obras pequeñas.
Tipo 1 especial	Por empresas constructoras.
Tipo 2	Donde haya presencia de sulfatos.
Tipo 3	En prefabricados y donde se requieren rápido endurecimiento y buena resistencia.
Tipo 4	Estructuras grandes como presas de concreto, contiene aceptable resistencia a los sulfatos y a la humedad.
Tipo 5	Constructoras que tienen constante contacto con el agua de mar.

Fuente: Andrés Latorre Cañón.

Los cementos que más se distribuyen en Colombia son el tipo 1 y el tipo 3; el primero se comercializa en sacos de 50 kg, y representa alrededor del 70 % de la demanda total del país; el segundo se comercializa en venta directa y grandes cantidades, generalmente para uso industrial (Latorre Cañón, 2008).

Teniendo en cuenta lo anterior, se analizaron los concretos elaborados con cementos tipo 1 y tipo 3 para evaluar algunas propiedades de cada uno y presentar un panorama a pequeñas empresas de construcción, que deben suplir los diseños y construcciones con cemento tipo 1, debido a que el tipo 3 sólo lo comercializan a granel y a través de las concreteras en la producción de los concretos comerciales; sin embargo, hoy en día ya empieza a comercializarse en algunos depósitos, clasificado como cemento estructural, empacado en bultos de 42,5 kg y a un precio mayor que el del tipo 1.

Por otro lado, para garantizar las propiedades del concreto en estado endurecido y evitar la evaporación de agua cuando éste se encuentra en estado fresco, es necesario realizar un curado adecuado. De acuerdo con el reglamento de construcción sismorresistente NSR-10, numeral C.5.11, el concreto debe mantenerse en condiciones de humedad por lo menos durante los primeros siete días después de la colocación (ver normas técnicas NTC 550). Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra (ASTM C31) y NTC 1377. Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayo de laboratorio (ASTM C192).

## PROGRAMA EXPERIMENTAL

Se elaboraron dos mezclas de concreto; la mezcla 1 (T-1) contenía cemento Pórtland tipo 1, con densidad de 2860 kg/m<sup>3</sup>, y la mezcla 2 (T-3) contenía cemento Pórtland tipo 3, con densidad de 3100 kg/m<sup>3</sup>; con el fin de hacer el comparativo de las características del concreto, se eligieron una serie de ensayos representativos del concreto en estado fresco y en estado endurecido, así como algunos otros que evalúan la durabilidad ante determinados agentes.

Los ensayos desarrollados para estado fresco fueron asentamiento, temperatura y contenido de aire; para estado endurecido se evaluaron resistencia a la compresión y módulo de elasticidad, y para cuantificar la durabilidad se realizaron los ensayos permeabilidad a cloruros, profundidad de carbonatación, permeabilidad al agua y contracción del concreto. Todos los ensayos se hicieron en el Laboratorio de Estructuras y Materiales de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

En cuanto al diseño de las mezclas de concreto, se establecieron las siguientes características:

- Resistencia a compresión ( $f'_c$ ) igual a 21 MPa (3000 PSI).
- Asentamiento de 75 mm.
- Tamaño máximo nominal del agregado de  $\frac{3}{4}$ .
- Relación a/c igual a 0,57.

Con lo anterior se procedió a calcular las cantidades de agregados y cemento para la elaboración de cada una de las mezclas (tabla 2).

**Tabla 2**  
Cantidad de materiales para un m<sup>3</sup> de concreto, por tipo de cemento

Resumen de materiales para ensayo		
Material	Cemento tipo 1	Cemento tipo 2
Masa de arena (kg)	944	958
Masa de grava (kg)	773	784
Masa de agua (kg)	200	200
Masa de cemento (kg)	353	353
Relación a/c	0,57	0,57

Fuente: Los autores.

## ENSAYOS EN ESTADO FRESCO

### Asentamiento

El ensayo de asentamiento, también conocido como **cono de Abrams** o **Slump**, es un método de control de calidad cuyo objetivo principal es medir la consistencia o el grado de fluidez del concreto. A renglón seguido se aprecia el ensayo de asentamiento (figura 1).



**Figura 1.** Ensayo de asentamiento.

Fuente: Los autores.

Para la ejecución de este ensayo se siguieron los requisitos estipulados en la NTC-396. Asentamiento del concreto.

### Temperatura

El método usado para medir la temperatura fue el establecido en la NTC 3357. Método de ensayo para Determinar la temperatura del concreto fresco de cemento hidráulico. A continuación se puede ver la toma de temperatura (figura 2).



**Figura 2.** Toma de temperatura (termómetro digital).

Fuente: Los autores.

### Contenido de aire

El proceso del ensayo de contenido de aire se realizó por el método de presión, el cual tiene por objeto determinar el contenido de aire en concreto fresco elaborado con agregados relativamente densos, a partir del cambio de volumen ocasionado por un cambio en la presión sobre el concreto, según NTC-1032. Contenido de aire método de presión, tal como se puede apreciar (figura 3).



**Figura 3.** Ensayo de contenido de aire por método de presión.

Fuente: Los autores.

### Masa unitaria

La densidad o peso unitario es la masa por unidad de volumen.

Para el cálculo de la masa unitaria se siguió la NTC-1926. Concretos. Método de ensayo para determinar la densidad (masa unitaria), el rendimiento y el contenido de aire por gravimetría del concreto. ASTM C138/C138M - 09.

**Tabla 3**  
Resultados de los ensayos en estado fresco, por tipo de cemento

N.º muestra	Tipo de cemento		Resultados en estado fresco				
			Relación A/C	Contenido de aire (%)	Asentamiento (mm)	Temperatura (°C)	Masa unitaria (kg/m³)
1	I	Normal	0,57	1,9	60	21	2246
2	III	Resistencia alta inicial	0,57	2,3	47	22	2256

Fuente: Los autores.

### Resultado y análisis

Los valores de cada una de las propiedades evaluadas en estado fresco para cada tipo de cemento aparecen en la tabla anterior (tabla 3).

Como puede observarse, se tuvo una leve disminución del asentamiento en la mezcla 2, atribuida a la mayor finura y superficie específica del cemento tipo 3, al igual que un mayor contenido de aire en esta muestra 2, atribuido a la menor manejabilidad; por otro lado, en esta misma muestra se aprecia un leve aumento de la masa unitaria, atribuido a la mayor densidad del cemento; en cuanto a la leve variación de temperatura entre muestras, se debe a la temperatura ambiente.

### ENSAYOS DE RESISTENCIA

En cuanto a la elaboración de especímenes de concreto, se basó en los requisitos estipulados en las normas NTC 550. Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra, NTC 1377. Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio, y NTC 673. Resistencia a la compresión. Esta propiedad se midió en especímenes cilíndricos de 100 mm de diámetro por 200 mm de altura y se ensayó por triplicado para cada una de las edades estipuladas.

#### Resistencia a la compresión, ( $f'c$ )

La resistencia a la compresión es la característica mecánica más empleada para el diseño de los elementos de concreto estructurales y no estructurales. A continuación se aprecia el equipo para fallar a compresión especímenes en concreto (figura 4).



**Figura 4.** Equipo para fallar a compresión especímenes en concreto.

Fuente: Los autores.

### Módulo de elasticidad

Para evaluar el módulo elástico se siguieron los requisitos estipulados en la NTC 4025. Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson en concreto a compresión.

Para el cálculo de esta propiedad se usaron especímenes cilíndricos de las dimensiones anteriormente especificadas.

### Resultado y análisis

Más adelante se presentan los resultados de los ensayos realizados, para caracterizar los concretos en las diferentes edades de ensayo, para los dos ambientes de curado nombrados anteriormente. Para estos ensayos se analizaron 36 muestras (cilindros en concreto) repartidas en 2 tipos, cemento tipo 1 (T-1) y cemento tipo 3 (T-3), que a su vez se divide en curado y sin curar, los cuales se fallaron a 3 edades 7, 28 y 90 días (tabla 4).

Como se puede observar la variación de resistencias para los dos tipos de concreto y a edades iguales en diferente ambiente de curado va hasta el 50 %. De igual manera, al comparar las resistencias, para una misma

**Tabla 4**

Resultados de los ensayos en estado endurecido por tipo de cemento, curado y sin curar, a 7, 28 y 90 días

Resumen de resultados de resistencia para estado endurecido del concreto													
Ensayo	Unidad	7 días				28 días				90 días			
		T-1		T-3		T-1		T-3		T-1		T-3	
		C.	S.C.	C.	S.C.	C.	S.C.	C.	S.C.	C.	S.C.	C.	S.C.
Resistencia a la compresión $f'c$	MPa	7	8	22	20	16	13	29	26	27	13	41	28
Módulo de elasticidad $E_c$	MPa	16,478	14,964	18,630	17,933	18,756	16,179	21,302	18,470	21,821	16,244	27,106	20,038
$\frac{E_c}{\sqrt{f'c}}$		6,369	5,192	3,980	3,990	4,626	4,497	3,927	3,605	4,166	4,439	4,215	3,755

C. = curado.

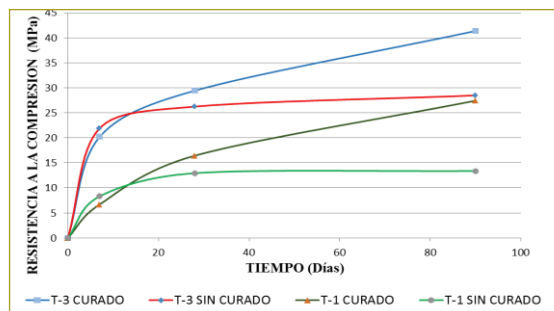
S.C.: sin curado

Fuente: Los autores.

edad con los dos tipos de cemento y el mismo curado, se pueden detallar diferencias también mayores del 50 %.

Más adelante se evidencia la influencia del curado del concreto, con la variación de las resistencias a partir de los catorce días, como puede observarse, se presentan diferencias hasta de tres veces la una con respecto a la otra para el mismo tipo de cemento; por otro lado, se visualiza desde edades tempranas, la variación de la resistencia entre los dos tipos de cemento estudiados con la misma dosificación.

Cabe destacar la ganancia de resistencia de los dos concretos a lo largo del tiempo, donde para el cemento tipo 1 no se logró la resistencia de diseño esperada a los 28 días, pero sí se superó a los 90 días, caso contrario al cemento tipo 3, donde desde los 7 días ya se estaba superando la resistencia de diseño (figura 4).

**Figura 4.** Curva de resistencia a la compresión a diferentes edades (7, 28 y 90 días).

Fuente: Los autores.

De acuerdo con lo esperado, la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad aumentan con la edad de ensayo. En dicha tabla también se presentan los resultados de la relación  $E_c/\sqrt{f'c}$ , en la cual obtenemos para 28 días valores que oscilan entre 3600 y 4600, dependiendo del tipo de cemento y del ambiente de curado, variables con respecto a los sugeridos para análisis en el capítulo C.8. NSR-10. Al comparar con los resultados obtenidos se observa que los especímenes sometidos a curado tienen valores similares para los dos tipos de cemento, mientras los de ambiente seco o sin curado están en promedio en un 80 % de este valor.

A renglón seguido se pueden apreciar los cilindros elaborados con cemento tipo 3 dejados en curado, la forma en que fallan estos cilindros de concreto es cónica, típico de un concreto con buenas características mecánicas.

**Figura 5.** Falla cónica en cilindros elaborados con cemento T-3 curado.

Fuente: Los autores.

## ENSAYOS DE DURABILIDAD

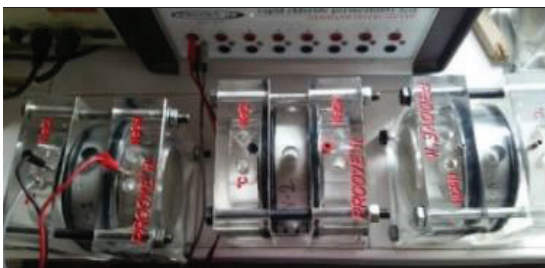
### Cloruros

La durabilidad del concreto reforzado se puede ver afectada por la penetración del ion cloruro en los elementos estructurales, generando corrosión en el acero de refuerzo y el posterior deterioro en el concreto, disminuyendo la vida útil y afectando su óptimo funcionamiento.

Para evaluar la penetración del ion cloruro se utilizaron especímenes de concreto, de 100 mm de diámetro y 50 mm de espesor; la muestra de ensayo, después de un acondicionamiento previo, se posiciona en una celda que contiene una reserva de soluciones en ambos lados. Para el RCPT o prueba de Coulumb, una reserva es llenada con una solución de 3 % NaCl y la otra con solución 0,3 N NaOH. Se aplicó un potencial de 60 VCD a través de la celda. La terminal negativa se conecta en la reserva con NaCl y la terminal positiva se conecta a la reserva con NaOH. Los iones cloruros cargados negativamente migran hacia la terminal positiva.

Se emplearon 24 muestras de dimensiones descritas anteriormente, repartidas en 2 tipos de cemento (T-1 y T-3), que a la vez se divide en curado y sin curar, en 2 edades: 28 y 90 días, en ese orden.

A continuación se aprecia el ensayo de penetración de cloruros. Se observan las celdas que contienen las muestras, las cuales tienen en un extremo una solución de NaOH y en otro una solución de NaCl (figura 6).



**Figura 6.** Foto de ensayo de penetración de cloruros.

Fuente: Los autores.

### Carbonatación

La carbonatación es un agente clave en el concreto expuesto a la acción del  $\text{CO}_2$ , como es el caso de estructuras en centros urbanos, especialmente cerca de avenidas de importante tráfico vehicular.

Con el fin de evaluar la profundidad de carbonatación del concreto, en ambientes acelerados de  $\text{CO}_2$ , se utilizaron 24 muestras con los dos tipos de cemento en

estudio, los dos ambientes de curado y edad de especímenes indicados en el presente artículo.

Para este ensayo se utilizó “la cámara de carbonatación”, disponiendo en su interior condiciones controladas con una concentración de  $\text{CO}_2$  del 10,0 %, mucho mayor de la que se encuentra en el ambiente normal. Igualmente se mantuvieron las muestras con humedad relativa del 65 % y temperatura de 23 °C.

Seguidamente, se presenta una imagen de la cámara de carbonatación, perteneciente a los laboratorios de la Escuela Colombiana de Ingeniería (figura 7).



**Figura 7.** Cámara de carbonatación.

Fuente: Los autores.

### Contracción y retracción del concreto

La retracción o contracción del concreto es la variación volumétrica que experimenta el concreto durante el proceso de fraguado, endurecimiento y secado, como consecuencia de la pérdida por evaporación del exceso de agua contenida en la muestra.

Por lo anterior, se realizó un ensayo que midió la variación volumétrica del concreto, para evaluar la influencia que tiene el tipo de cemento y el ambiente de curado, siguiendo los requisitos estipulados en la norma ASTM C157-93. Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete.

Para ello se fundieron 6 viguetas de sección transversal de 50 mm y longitud de 280 mm, de las cuales 3 se dejaron expuestas al aire y 3 se dejaron en curado en un tanque con agua.

En la figura siguiente se puede observar el equipo usado para la toma de datos del ensayo de contracción del concreto (figura 8).



**Figura 7.** Ensayo de contracción del concreto.  
Fuente: Los autores.

A renglón seguido se observan las viguetas fundidas para la ejecución del ensayo.



**Figura 8.** Moldes de las viguetas en estado fresco.  
Fuente: Los autores.

### Permeabilidad al agua - ISAT

Con el fin de obtener un parámetro de permeabilidad al agua de las muestras de concreto, se llevó a cabo el ensayo ISAT tasa de absorción superficial inicial (Initial Surface Absorption Test BS 1881 part 208). Este ensayo se realizó a doce muestras de concreto para las variables de estudio indicadas anteriormente.

Dicha norma describe el método de ensayo, aunque no aparece una clasificación de concretos de acuerdo con el resultado obtenido (British Estándar, s.f.). Sin embargo, existe una escala creada por la Concrete Society, que clasifica los concretos de acuerdo con el parámetro ISAT (tabla 5).

De acuerdo con esto, la clasificación 1 corresponde a una buena durabilidad (poca absorción) y 5 corresponde a una mala durabilidad (gran absorción).

La permeabilidad y la absorción capilar están principalmente influenciadas por el volumen total de vacíos, su tamaño, su forma y su conectividad. En la figura siguiente se presenta el montaje para el ensayo de ISAT (figura 9).

**Tabla 5**  
Clasificación de acuerdo con Concrete Society

Clasificación de durabilidad	ISAT (ml/m <sup>2</sup> .s) x 10 <sup>-2</sup>
1	<50
2	51 - 70
3	71 - 90
4	91 - 110
5	>110

Fuente: Concrete Society.

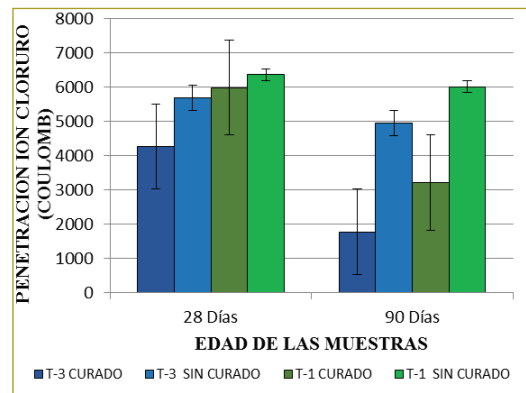


**Figura 9.** Ensayo ISAT.  
Fuente: Los autores.

### Resultados y análisis ensayos de durabilidad

#### Cloruros

A renglón seguido se muestra la penetración del ion cloruro a las edades de 28 y 90 días, en ambiente de curado y no curado, de los dos tipos de cemento analizados (figura 10).



**Figura 10.** Penetración de ion de cloruro a diferentes edades (28 y 90 días).

Fuente: Los autores.

En la figura anterior se observa que los testigos de concreto curado, en los que se emplearon cemento tipo 1 y cemento tipo 3 entre los 28 y 90 días, tienen un aumento de permeabilidad al ion cloruro, con respecto a los no curados, entre el 41 y el 46 %, respectivamente.

Para los testigos de concreto curado, en los que se usaron cemento tipo 1 y cemento tipo 3 a los 28 días, tienen un aumento de permeabilidad del ion cloruro a los 90 días del 46 y 58 %, en ese orden.

Finalmente los testigos de concreto sin curar, en los que se emplearon cemento tipo 1 y cemento tipo 3 a los 28 días, tienen un aumento de permeabilidad del ion cloruro a los 90 días del 5 y 13 %, respectivamente.

Para clasificar la penetración de cloruros se utilizó la tabla siguiente, extraída de la ASTM C1202 (tabla 6).

**Tabla 6**  
Clasificación del concreto según la penetración de cloruros

Carga	Penetrabilidad del ion cloruro
>4000	Alta
2000-4000	Moderada
1000-2000	Baja
100-1000	Muy baja
<100	Despreciable

Fuente: ASTM C1202.

A continuación se clasifican las muestras en las que se observa una baja permeabilidad de las muestras con cemento T3 a los 90 días en ambiente curado y si no se curan, la permeabilidad es alta; por otro lado, las muestras con cemento T1 curado a la misma edad pasan a moderada y si no se cura el concreto se mantienen en permeabilidad alta.

**Tabla 7**  
Datos de resistencia a la penetración de ion de cloruro a diferentes edades (28 y 90 días)

	Resistencia a la penetración de ion cloruro Coulomb			
	28 días	Clasificación	90 días	Clasificación
T-3 curado	4,269	Alta	1,774	Baja
T-3 sin curado	5,684	Alta	4,953	Alta
T-1 curado	5,985	Alta	3,207	Moderada
T-1 sin curado	6,361	Alta	6,017	Alta

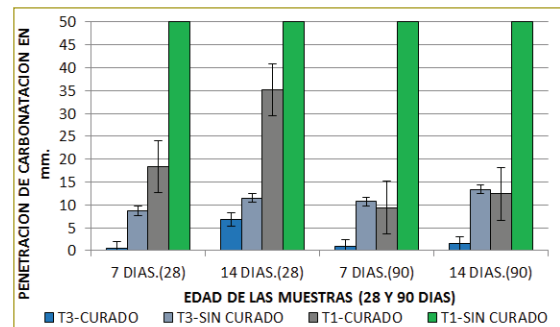
Fuente: Los autores.

### Carbonatación

Los resultados de penetración de la carbonatación se presentan en mm, de acuerdo con los testigos descritos anteriormente (figura 11).

Se puede ver que la muestra T-1 (sin curado) se carbonató totalmente, incluso no alcanzó a soportar el primer periodo de exposición; la siguiente en tener más resistencia a la carbonatación es la muestra T-1 (curado), la cual alcanzó a tener una carbonatación del 70 % respecto a la profundidad máxima carbonatada, a los 14 días de inicio del ensayo.

La muestra que tuvo el mejor comportamiento a la carbonatación fue la muestra T-3 (curada), la cual tuvo una carbonatación máxima de 14 % en los testigos llevados a la cámara por 14 días y una madurez de 28 días, a diferencia de las muestras curadas a 90 días, las cuales sólo se carbonataron un 3 %, dejando claro que un adecuado curado es clave para la obtención de concreto de características adecuadas.



**Figura 11.** Penetración de carbonatación según tiempo de carbonatación (7 y 14 días), tipo de cemento y edades (28 y 90 días).

Fuente: Los autores.

En el ensayo de carbonatación se calcula la constante de carbonatación, de acuerdo con la ecuación siguiente; así mismo, se puede ver dicha constante para cada uno de los casos estudiados (tabla 8).

### Ecuación 5.1. Constante de carbonatación

$$K = \frac{x}{\sqrt{t}}$$

Fuente: Diapositivas de tecnología del concreto.

Donde:

K = constante de carbonatación.

x = profundidad de capa carbonatada.

t = tiempo (edad del concreto).



**Tabla 8**

Coefficientes de carbonatación (K) de los especímenes en exposición acelerada (mm/día<sup>0,5</sup>) de acuerdo con el tiempo de carbonatación (7 y 14 días) y tipo de concreto a diferente edades (28 y 90 días)

K (ambiente 10 % de CO <sub>2</sub> )					
Edad	Concreto 28 días		Concreto a 90 días		K <sub>prom</sub>
Días de ensayo	7	14	7	14	
T-3 curado	0,18	1,82	0,38	0,42	0,70
T-3 sin curar	3,28	3,06	4,06	3,58	3,49
T-1 curado	6,94	9,39	3,55	3,31	5,80
T-1 sin curado	18,90	-	18,90	-	18,90

Fuente: Los autores.

En la tabla anterior se puede ver que la carbonatación que presentó el concreto T-3 curado es de K=0,70 mm / día<sup>0,5</sup>, un poco inferior al esperado en un concreto de estas características (K=0,93 mm/día<sup>0,5</sup>).

**Contracción y retracción del concreto**

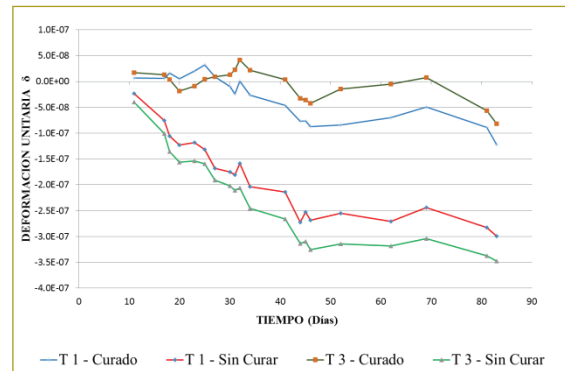
En cuanto al ensayo de contracción del concreto, se puede observar que la mezcla con cemento T-3 presenta una contracción mayor que la de cemento tipo 1, lo que se atribuye a la mayor finura del cemento T3; de igual manera, la contracción es mayor para las que no fueron sometidas a curado (figura 12).

Por lo anterior, la forma como se realice el curado en el concreto dependerá de la magnitud de la contracción que resulte en un concreto estructural.

Se realizó una gráfica de promedio móvil de tres datos, para atenuar y observar el comportamiento de las muestras, y obtener una tendencia más clara de la variación volumétrica de las dos muestras (en curado y sin curar).

Igualmente, se observa que el comportamiento de las muestras curadas presenta una tendencia menor a contraerse a lo largo del tiempo que las muestras sin curar, donde su cambio volumétrico aumenta casi cuatro veces (figura 12).

De acuerdo con esto, se puede deducir que la contracción se incrementa en forma significativa a medida que pasa el tiempo en las muestras T-3 (sin curado) y T-1 (sin curado).

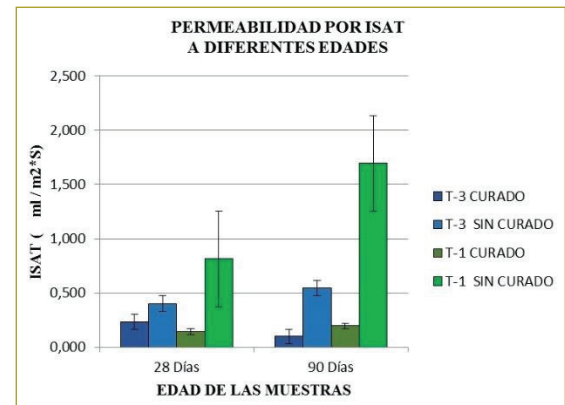


**Figura 12.** Promedio móvil de tres de variación volumétrica del concreto, según el tipo de cemento (curado y sin curar) a diferentes edades (28 y 90 días)

Fuente: Los autores.

**Permeabilidad al agua ISAT**

Con respecto al ensayo ISAT, a continuación se indica la tasa de absorción inicial del agua para las muestras analizadas.



**Figura 13.** Tasa de absorción superficial inicial ISAT del concreto a diferentes edades (28 y 90 días).

Fuente: Los autores.

**Tabla 9**

Tasa de absorción superficial inicial ISAT a diferentes edades (28 y 90 días)

Descripción	ISAT - Tasa de absorción superficial inicial (ml/m <sup>2</sup> .s)			
	28 días	Durabilidad (Concrete Society)	90 días	Durabilidad (Concrete Society)
T-3 sin curado	0,401	1 muy buena	0,545	2 buena
T-3 curado	0,234	1 muy buena	0,099	1 muy buena
T-1 sin curado	0,814	3 regular	1,696	5 muy mala
T-1 curado	0,144	1 muy buena	0,196	1 muy buena

Fuente: Los autores.

Por otra parte, se puede apreciar que el curado influye en la permeabilidad del concreto; para el caso de absorción superficial inicial ISAT, las muestras sin curado tienen una absorción entre dos y ocho veces mayor que las muestras sometidas en curado (figura 13).

En los resultados del ensayo ISAT, el tipo de cemento utilizado también es influyente en la tasa de absorción inicial del concreto, resultando para el cemento T-1 una absorción de una a tres veces mayor que la absorción con el cemento tipo 3.

De acuerdo con la clasificación de durabilidad de Concrete Society (tabla 9), las muestras sometidas a curado mantuvieron su clasificación entre 1 y 2 (muy buena a buena), en tanto que las muestras sin curar variaron entre 1 y 5 (muy buena a muy mala).

Se pudo verificar que la tasa de absorción inicial va disminuyendo con el tiempo a lecturas de 10 min, 20 min y 30 min, dado que los capilares con el tiempo de medición ya se encuentran llenos.

## CONCLUSIONES

De los ensayos realizados se observó que el concreto elaborado con cemento T-1 posee unas bajas propiedades, tanto mecánicas como de durabilidad, lo cual se agrava profundamente con la falta de un adecuado curado. Por otra parte, las buenas propiedades del concreto elaborado con el cemento T-3 pueden aumentarse aún más si se implementan técnicas de curado acordes con las buenas prácticas de la construcción.

En Colombia es normal el uso de concretos elaborados con cementos comprados en ferretería, bien sea por los bajos volúmenes de concretos por fundir, o

por falta de plantas concreteras cercanas; esta razón, al igual que la falta de una buena cultura de elaboración y curado del concreto, lleva a que la gran mayoría de las pequeñas construcciones en Colombia se construyan con concreto de bajas características, tanto mecánicas como de durabilidad, si no se tienen los adecuados controles de calidad, y se necesite mayor cantidad de cemento T1 para lograr mejores prestaciones.

Aunque no es el alcance del presente artículo, podemos ver que no es suficiente obtener buenas resistencias a la compresión para garantizar otras propiedades importantes, como es el caso de la resistencia a la penetración del ion cloruro. Por eso es recomendable implementar el uso de adiciones, incorporar aire y una baja relación a/c para disminuir la afectación de las propiedades del concreto por agentes patológicos externos.

## REFERENCIAS

- British Estándar (s.f.). *Referencia 3*. s.l.:s.n.
- Huerta Maza, M. A. y otros (2014). *Resistencia por adherencia pasta - agregados*. s.l.:Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo.
- INV E 406-7 (s.f.). *Contenido de aire en el concreto fresco Método de presión*. s.l.: Instituto Nacional de Vías (Invías).
- Latorre Cañón, A. (2008). *La industria del cemento en Colombia. Determinantes y comportamiento de la demanda (1996-2005)*. Tesis. Bogotá, D.C.: Pontificia Universidad Javeriana - Facultad de Ciencias Económicas.
- NTC 3357 (2006). *Concretos. Método de ensayo para determinar la temperatura del concreto fresco de cemento hidráulico*. s.l.: Icontec.
- NTC 396 (1992). *Ingeniería civil y arquitectura. método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto*. s.l.: Icontec.
- NTC 673 (2010). *Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*. s.l.: Icontec.
- Proove'it. (1993). *Instruction and Maintenance Manual*. s.l.: Germann Instruments A/S.