



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela Ingeniería en Construcción

“COMPARACIÓN DE TRES MÉTODOS PRÁCTICOS DE CURADO DE HORMIGÓN APLICADOS EN OBRAS MENORES FRENTE A UN PATRÓN DE HORMIGÓN SIN CURAR”

Tesis para optar al título de:
Ingeniero Constructor

Profesor Guía:
Sr. José Arrey Díaz.
Constructor Civil, especialidad Hormigones.
Experto en Prevención de Riesgos Ocupacionales.

FRANCISCO JAVIER GUICHAPAI GODOY
VALDIVIA-CHILE
2008

AGRADECIMIENTOS

Si tuviese que hacer una lista con todas las personas que me han ayudado en este proceso, resultaría muy extenso.

Pero si es necesario, agradecer a grandes compañeros, los cuales se convirtieron en mis mejores amigos: Omar, Pablo, Choya, Mancha, Serlly, Julio, Chino. Con ellos logré un excelente grupo de estudio y a la vez, se afiataron fuertes lazos de amistad, dados sus valores y sentimientos.

A Dios, por la hermosa familia que me ha dado, comenzando por mis padres, los cuales me han entregado valiosos valores y fuerza en momentos de flaqueza, para alcanzar triunfos, como el que hoy he logrado.

No puedo dejar de agradecer a mi tío Carlos y hermana Sofía, los cuales me han ayudado sin pedir nada a cambio, y a mi abuelo Erasmo, que me cuidada desde el cielo.

Durante los últimos años de universidad, se ha cruzado en mi camino la mujer más maravillosa, la que me dio el último impulso para llegar a esta meta, y que hoy es el pilar fundamental de mi vida.

A todas estas magníficas personas y quizás a otras tantas más...MUCHAS GRACIAS!... porque sin ustedes hubiese sido imposible llegar a culminar este proceso, que nos hace tan inmensamente feliz.

INDICE DE CONTENIDO

Capítulo		Página
I	FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN	1
1.1	Etapas en el hormigón	1
1.1.1	Materiales para el hormigón	1
1.1.1.1	Cemento	1
1.1.1.2	Agua de amasado	3
1.1.1.3	Áridos	4
	a) Docilidad	4
	b) Resistencia Propia	5
	c) Estabilidad Físico-Química	5
1.1.1.4	Aditivos y adiciones	5
1.1.2	Fabricación del hormigón	6
1.1.2.1	Mezclado del hormigón	6
1.1.3	Transporte	7
1.1.3.1	Plazo de transporte	8
1.1.3.2	Equipos de transporte	8
1.1.4	Hormigonado	13
1.1.4.1	Preparación previa	13
	A) Etapas de colocación	13
	B) Recursos	16
1.1.4.2	Colocación del hormigón	16
1.1.5	Compactación	17

Capítulo		Página
1.1.5.1	Objetivos de la compactación	17
1.1.5.2	Métodos de compactación	18
1.1.5.2.1	Métodos manuales	18
1.1.5.2.2	Métodos mecánicos vibratorios	18
1.1.6	Tratamiento de la superficie hormigonada	19
1.2	Propiedades del hormigón fresco	19
1.2.1	Docilidad o trabajabilidad	20
1.3	Procesos físicos y químicos que experimenta el hormigón en su fabricación y estado fresco	21
1.3.1	Procesos físicos	21
1.3.1.1	Exudación del agua de amasado	21
1.3.1.2	Variación de volumen	23
1.3.2	Procesos químicos	25
1.3.2.1	Hidratación	25
1.3.2.2	Fraguado y endurecimiento de la pasta de cemento	26
II	EL CURADO	28
2.1	Generalidades del curado	28
2.2	Factores que alteran el curado	29
2.2.1	Factores internos	29
2.2.1.1	Tipo de cemento	30
2.2.1.2	Relación agua / cemento (a/c)	30
2.2.1.3	Falso fraguado del hormigón	32
2.2.1.4	Temperatura del hormigón	32
2.2.2	Factores externos	33

Capítulo	Página
a) Temperatura ambiental	34
b) Viento	35
c) Humedad ambiente	35
2.3 Tipos de curado	37
2.3.1 Curado con agua	38
a) Inundación o inmersión	38
b) Nebulización o rocío	39
c) Cubiertas de material absorbente	39
d) Arena y aserrín	39
2.3.2 Curado con materiales sellantes	40
2.3.2.1 Películas plásticas	40
2.3.2.2 Compuestos líquidos formadores de membrana de curado	41
2.4 Tiempo de curado	42
2.5 Consecuencias por la falta de curado	43
2.5.1 Fisuras de retracción plástica	44
2.5.2 Asentamiento plástico	45
III DESCRIPCIÓN ESPECÍFICA DE LA INVESTIGACIÓN	47
3.1 Diseño de la mezcla de amasado del hormigón	47
3.1.1 Ensayos realizados a los áridos para la dosificación	47
a) Granulometría	47
b) Materia Orgánica	49
c) Material Fino menor que 0,080 mm	49
d) Densidades Reales, Netas y Absorción	50
3.1.2 Dosificaciones	51

Capítulo	Página	
a) Resistencia media requerida (Fr)	51	
b) Porcentaje de los áridos necesarios para la mezcla	52	
c) Razón Agua-Cemento	53	
d) Aire	55	
e) Áridos	55	
f) Resumen	56	
3.2	Confeción de la mezcla de Prueba	57
3.3	Descripción de los métodos de curado	60
3.3.1	Curado con una lámina de polietileno	61
3.3.2	Curado con una capa de arena húmeda	62
3.3.3	Curado con una capa de aserrín húmeda	63
3.3.4	Patrón sin curar	63
IV	PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	65
4.1	Ensayo de resistencia a la compresión.	65
4.1.1	Hormigón H-25	65
4.1.1.1	Hormigones H-25 a los 7 días	65
4.1.1.2	Hormigones H-25 a los 14 días	66
4.1.1.3	Hormigón H-25 a los 28 días	67
4.1.1.4	Resumen de resistencia a compresión de hormigón H-25, a diferentes edades	68
4.1.1.5	Superposición de resistencia a compresión de hormigón H-25, a diferentes edades	68

Capítulo		Página
4.1.1.6	Diferencia de las resistencia entre el patrón sin curar y los tipos de curado estudiados	69
4.1.2	Hormigón H-30	73
4.1.2.1	Resistencia a la compresión para hormigones H-30, a los 7 días	73
4.1.2.2	Resistencia a la compresión de hormigones H-30, a los 14 días	74
4.1.2.3	Resistencia a la compresión de hormigones H-30, a los 28 días	74
4.1.2.4	Resumen de resistencia a compresión de hormigón H-30, a diferentes edades	75
4.1.2.5	Superposición de resistencia a compresión de hormigón H-30, a diferentes edades	76
4.1.2.6	Diferencia de las resistencia entre el patrón sin curar y los tipos de curado estudiados	77
4.2	Ensayo de resistencia a flexotracción	81
4.2.1	Resistencia a flexotracción de hormigones H-30, a los 7 días	81
4.2.2	Resistencia a flexotracción de hormigones H-30, a los 14 días	82
4.2.3	Resistencia a flexotracción de hormigones H-30, a los 28 días	82
4.2.4	Resumen de resistencia a flexotracción de hormigón H-30, a diferentes edades	83

Capítulo		Página
4.2.5	Superposición de resistencia a flexotracción de hormigón H-30, a diferentes edades	84
4.2.6	Diferencia de las resistencia a la flexotracción, entre el patrón sin curar y los tipos de curado estudiados	85
V	CONCLUSIONES	90
VI	BIBLIOGRAFÍA	92

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Efecto de la temperatura y del hormigón, la humedad relativa y la velocidad del viento sobre la evaporación en el hormigón	36
2	Resistencia a la compresión de hormigón H- 25, a los 7 días	66
3	Resistencia a la compresión de hormigones H-25, a los 14 días	67
4	Resistencia a la compresión de hormigones H-25, a los 28 días	67
5	Resumen de resistencia a compresión de hormigón H-25, a diferentes edades	68
6	Superposición de resistencia a Compresión de Hormigón H-25, a diferentes edades	69
7	Diferencia entre las resistencia a la compresión, del hormigón H-25, entre el patrón sin curar y el curado con arena húmeda	70
8	Diferencia entre las resistencia a la compresión, del hormigón H-25, entre el patrón sin curar y curado con lámina de polietileno	70

Figura		Página
9	Diferencia entre las resistencia a la compresión, del hormigón H-25, entre el patrón sin curar y curado con aserrín húmedo	71
10	Porcentaje que excede a la resistencia a compresión de hormigón h-25, sin curar	72
11	Resistencia a la compresión de hormigón H- 30, a los 7 días	73
12	Resistencia a la compresión de hormigones H-30, a los 14 días	74
13	Resistencia a la compresión de hormigones H-30, a los 28 días	75
14	Resumen de resistencia a compresión de Hormigón H-30, a diferentes edades	76
15	Superposición de resistencia a compresión del Hormigón H-30, a diferentes edades	77
16	Diferencia entre las resistencia a la compresión del hormigón H-30, entre el patrón sin curar y el curado con arena húmeda	78
17	Diferencia entre las resistencia a la compresión del hormigón H-30, entre el patrón sin curar y el curado con lámina de polietileno	79
18	Diferencia entre las resistencia a la compresión del hormigón H-30, entre el patrón sin curar y curado con aserrín húmedo	79

Figura		Página
19	Porcentaje que excede la resistencia a compresión de hormigón h-30, sin curar	80
20	Resistencia a la flexotracción de hormigones H-30, a los 7 días	81
21	Resistencia a la flexotracción de hormigones H-30, a los 14 días	82
22	Resistencia a flexotracción de hormigones H-30, a los 28 días	83
23	Resumen de resistencia a flexotracción del hormigón H-30, a diferentes edades	84
24	Superposición de resistencia a la flexotracción del hormigón H-30, a diferentes edades	85
25	Diferencia de resistencia a flexotracción del hormigón H-30, curado con una capa de arena húmeda y el patrón sin curar	86
26	Diferencia de resistencia a flexotracción, del hormigón H-30, curado con una lámina de polietileno y el patrón sin curar	87
27	Diferencia de resistencia a flexotracción, del hormigón H-30, curado con una capa de aserrín húmedo y el patrón sin curar	87
28	Porcentaje de variación de resistencia a flexotracción con respecto al hormigón sin curar (hormigón H-30)	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
1	Clasificación de los cementos según su composición	2
2	Clasificación de los cementos según su resistencia	2
3	Pendientes de equipos inclinados	8
4	Temperatura de colocación	17
5	Métodos mecánicos vibratorios	19
6	Resultado granulometría grava	48
7	Resultado granulometría gravilla	48
8	Resultado granulometría arena	49
9	Resultado ensayo material fino menor a 0.080 mm para áridos	50
10	Resultado ensayo de densidades reales, netas y absorción grava	50
11	Resultado ensayo de densidades reales, netas y absorción gravilla	50
12	Resultado ensayo de densidades reales, netas y absorción arena	51
13	Ajuste de porcentaje de grava y arena a bandas granulométricas	53
14	Dosificación H-25, para un metro cúbico	57
15	Dosificación H-30, para un metro cúbico	57

Tabla		Página
16	Porcentaje que excede la resistencia a compresión de hormigón H-25, sin curar	72
17	Porcentaje que excede la resistencia a compresión de hormigón H-30, sin curar	80
18	Porcentaje que excede la resistencia a flexotracción de hormigón H-30, al tratamiento sin curar	88

RESUMEN

En este trabajo, se evaluaron diversos métodos de curado, que pueden emplearse en construcciones menores, determinando la resistencia a la compresión y a la flexotracción de cada uno de ellos, tanto para hormigón H-25 y como para H-30.

Para ellos, se confeccionaron probetas que fueron curadas con una capa de arena húmeda, aserrín húmedo y una lámina de polietileno, comparadas con un patrón sin curar, a los 7, 14 y 28 días de maduración.

Se determinó que la probeta curada con una capa de arena húmeda obtiene las mayores resistencias, tanto a la compresión como a la flexotracción, a los 7, 14 y 28 días de curadas.

ABSTRACT

In the work, evaluated method different of cured, that they can to make use in smalls constructions, determining the compress and flexotration resistance, of each one them, of the H-25 and H-30 concrete.

It made test-tube, that was cured with moisture san and moisture sawdust cape's, and a polymeric sheet's, compared with a patron without cured, to seven, fourteen and twenty eight days.

It determined that test-tube cured with moisture san cape, she get the greatest resistance, a compress as a flexotrator, to seven, fourteen and twenty eight days.

INTRODUCCIÓN

El curado consiste en propiciar y mantener un ambiente de apropiada temperatura y contenido de humedad en el hormigón recién colocado y acabado, de modo que éste desarrolle el potencial de las propiedades que se esperan de él, tales como: alcanzar su máxima resistencia y durabilidad, impermeabilidad y disminuir riesgo de fisuración.

Este proceso es fundamental y de tanta relevancia como la dosificación o la fabricación misma. Para obtener un buen producto, además es necesario proteger el hormigón fresco de las condiciones ambientales, especialmente viento y calor.

Las obras menores, no cuentan con métodos sofisticados de curado como en obras mayores, los cuales deberían destinar recursos para tan importante punto. De ahí la idea de estudiar métodos prácticos y económicos de curado.

Se han agrupado los métodos en dos grupos: métodos que proporcionan humedad (tratamientos húmedos) y métodos que previenen la pérdida de humedad.

Un curado inadecuado favorece la formación de fisuras y disminuye la impermeabilidad, la resistencia mecánica a la intemperie, al desgaste y al ataque de químicos, por lo tanto disminuye la resistencia mecánica.

Esta investigación parte describiendo, las etapas de fabricación del hormigón, para luego meterse de lleno a los cuidados posteriores a su fabricación, proceso tan importante como todos los anteriores.

El capítulo siguiente, está avocado exclusivamente al curado, su importancia, variables que lo afectan, variables tanto intrínsecas del hormigonado como externas (del medio ambiente). También las consecuencias que pueden producir estas variables si no son bien combatidas.

Luego se procederá con la ejecución de los ensayos (compresión y flexotracción) los cuales serán realizados a distintas edades, finalizando el capítulo con la recopilación de resultados.

En el capítulo siguiente, se realizaran los análisis pertinentes, que entregarán las respuestas que dieron origen a esta investigación, se logrará determinar cual método de curado favorece mejor el desarrollo de la resistencia del hormigón.

El último capítulo será para realizar las conclusiones, las cuales se obtendrán luego de realizar todo el estudio.

OBJETIVO GENERAL:

El objetivo general de esta memoria es comparar tres métodos prácticos de curado de hormigón aplicados en obras menores, frente a un patrón de hormigón sin curar.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Realizar mezclas de pruebas y someter las probetas, con ellas elaboradas, a distintas prácticas de curado.
- Determinar la resistencia a la compresión y a la flexotracción de probetas de hormigón con distintos métodos de curado.
- Establecer la relación de las distintas resistencias obtenidas a distintas edades de hormigones sometidos a diferentes métodos de curado.

CAPITULO I.

FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN

1.1 Etapas en el hormigón.

1.1.1 Materiales para el hormigón.

Los materiales para la fabricación del hormigón deben cumplir con las normas de calidad respectivas.

1.1.1.1 Cemento.

Este componente es un polvo finísimo de color gris, que al ser mezclado con agua (denominado cemento hidráulico) forma una pasta aglomerante que endurece tanto fuera como bajo agua.

Los componentes principales del cemento son la caliza (cal) y sílice (arcilla o escoria alto horno). Estos son mezclados en proporciones adecuadas y sometidos a un proceso de fusión en un horno rotatorio, dando creación al clínker. Este posteriormente será sometido a molinos de bola convirtiéndolo en polvo finísimo.

Una vez que el clínker se encuentra en este estado se le agrega yeso más menos un 5% del peso. Este porcentaje cumple la función de regular el proceso de fraguado del cemento, el cual si no lo contiene endurecería en forma casi inmediata.

Cemento Portland, es denominado al cemento que sigue el procedimiento antes descrito. Además de este existen los cementos portland con adiciones o especiales, los que a la vez de mantener las características del portland poseen otras propiedades relacionadas con la durabilidad, resistencia química, etc. De acuerdo a la norma Nch 148, los cementos se clasifican según su composición y resistencia.

- Según su composición

Denominación	Proporción de los componentes		
	Clinker	Puzolana	Escoria
Pórtland	100%	-	-
Portland Puzolánico	≥70%	≤30%	-
Portland Siderúrgico	≥70%	-	≤30%
Puzolánico	50-70%	30-50%	-
Siderúrgico	25-70%	-	30-75%

TABLA Nº 1 Clasificación de los cementos según su composición.

Fuente: Compendio tecnología del hormigón.

- Según su resistencia

Grado	Tiempo de fraguado		Resistencias mínimas (Kgf/cm ²)			
			Compresión		Flexión	
	Inicial (min.)	Final (máx.)	7 días	28 días	7 días	28 días
Corriente	60 min	12 h	180	250	35	45
Alta resistencia	45 min	10 h	250	350	45	55

TABLA Nº 2 Clasificación de los cementos según su resistencia.

Fuente: Compendio tecnología del hormigón.

La condicionante esta dada por el requerimiento planteado en el diseño del hormigón, es decir, no se precisa de un cemento con características especiales para la elaboración de hormigones al igual que los materiales utilizados. Pero, el tipo de cemento usado en la elaboración del hormigón influirá en el periodo de protección, como por ejemplo: si se utiliza un cemento de grado de alta resistencia, en comparación con un cemento Pórtland de grado corriente. El primero alcanzara la resistencia de diseño en menor tiempo que el segundo, y por lo tanto, el periodo de protección será menor con respecto al cemento Pórtland de grado corriente.

1.1.1.2 Agua de amasado.

La presencia del agua es imprescindible en la confección de los hormigones, ya que es ella la encargada de provocar el proceso de hidratación del cemento y además otorga la trabajabilidad al hormigón fresco.

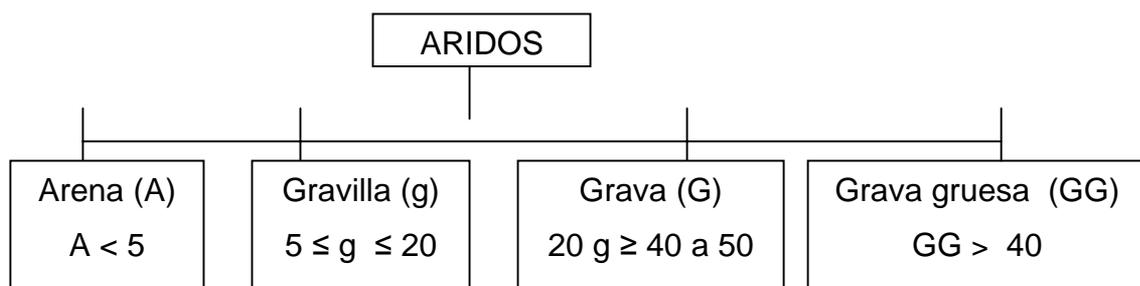
El agua debe cumplir con ciertos requisitos lo que son regulados por la norma Nch 1498 y son las siguientes: el uso del agua potable está permitido sin controlar su calidad; el agua de mar sólo puede utilizarse en la preparación de hormigones de resistencia especificadas a 150 kg/cm²; el agua con contenido de azúcares, en las formas de sacarosas o glucosa, no puede ser empleada en la confección de hormigones, y por último, las aguas de orígenes desconocidos deben ser sometidas a análisis químicos, debiendo atenerse su composición a los límites señalados en la tabla 2.8 “requisitos químicos del agua” según Nch 1498.

1.1.1.3 Áridos.

Por economía y estabilidad físico-química, es conveniente que el hormigón además de estar constituido por la pasta de cemento contenga el esqueleto inerte que le brindan los áridos.

Los áridos constituyen alrededor de un 65 a un 75% del volumen total del hormigón distribuido en diferentes formas y tamaños.

Los áridos pueden clasificarse según su tamaño en (mm):



Para su buena integración en el hormigón el árido debe cumplir, con todas las condiciones exigidas en la norma Nch 163, las cuales pueden resumirse en:

a) Docilidad. Diremos que está relacionada directamente con:

- La composición granulométrica que tengan los áridos, la cual será regulada por la norma Nch 165 y Nch 163.
- El contenido de granos finos, el que es regulado por la norma Nch 163 y Nch 1223.
- Forma de los granos, regulada por la norma Nch 163 y Nch 1511.
- Porosidad, regulada por Nch 163, Nch 1239 y Nch 1117.

b) Resistencia Propia. El árido debe ser capaz de resistir condiciones ambientales y las tensiones para las cuales será diseñado. Una forma indirecta de medir esta resistencia es someter la muestra a los ensayos de desgaste de grava por el método de la máquina de los Ángeles, partículas desmenuzables, cuyos ensayos serán regidos por las normas Nch 1369 y Nch 1327, respectivamente. Además de cumplir con estas normas de ensayo los áridos deberán satisfacer los requisitos mínimos especificados en la Nch 163.

c) Estabilidad Físico-Química. El árido debe ser capaz de soportar las condiciones físico-químicas provocadas por el ambiente al que será expuesto.

En su estabilidad química los áridos deberán presentar inalterabilidad ante los compuestos producidos durante el proceso de fraguado. Además el árido no debe poseer productos nocivos que puedan alterar el proceso de fraguado y endurecimiento de la pasta de cemento. Por otro lado en su estabilidad física el árido debe ser capaz de soportar los ciclos alternados de temperaturas altas y bajas (ciclos de hielo-deshielo).

1.1.1.4 Aditivos y adiciones.

Los aditivos y adiciones, permiten modificar los procesos físico-químicos que experimenta el hormigón, contribuyendo a hacer más versátil al material, flexibilizando o modificando algunas de sus propiedades, para su mejor adaptación técnica a los requisitos de la obra y/o estructura particular.

1.1.2 Fabricación del hormigón.

A la hora de fabricar hormigón o mezclas de cemento para obras menores y en obras mayores, es necesario utilizar la proporción adecuada de ingredientes. Todo depende del uso que se le dará al concreto.

1.1.2.1 Mezclado del hormigón.

La normativa vigente para el mezclado de hormigón, Nch 170, determina lo siguiente:

El mezclado se debe efectuar con los equipos adecuados y mediante los procedimientos necesarios (carguío, velocidad de rotación, tiempo de mezclado y mantención) para producir un hormigón homogéneo.

El orden de carguio en el mezclado mecánico debe establecerse de acuerdo con los equipos disponibles. En todo caso parte del agua de amasado se debe cargar en primer lugar.

El tiempo de mezclado, contado desde el momento en que todos los materiales están en el interior de la hormigonera hasta el instante en que se inicia la descarga, debe ser superior a 1 ½ minutos, salvo que el equipo cuente con dispositivos que aseguren homogeneidad de la mezcla en un tiempo menor.

El mezclado manual, sólo se permite en hormigones de grado H5.

Con respecto al orden de carguío en obra, las buenas prácticas, recomiendan que debe hacerse en el menor tiempo posible y en el orden que se indica (nunca el cemento en primer lugar):

- $\frac{3}{4}$ partes del agua a emplear
- Todo el árido grueso (grava y/o gravilla)
- Todo el cemento
- Toda la arena
- El resto del agua necesaria, con los aditivos correspondientes.

1.1.3 Transporte.

El transporte incluye las operaciones necesarias para llevar el hormigón desde la mezcla del agua con el cemento, hasta la descarga en el punto de colocación.

El transporte se debe efectuar con los equipos adecuados y mediante procedimientos necesarios para mantener la homogeneidad del hormigón que se obtuvo en el mezclado. En este sentido se deben evitar pérdidas de material, segregaciones y contaminaciones.

En el caso que las inclemencias del clima (sol, viento, lluvia) afecten al hormigón durante el transporte deben usarse protecciones adecuadas.

El equipo de mezclado y transporte, se regirá por la norma Nch 1934.

1.1.3.1 Plazo de transporte.

El hormigón debe ser transportado desde la hormigonera a su lugar de colocación definitiva en un plazo menor que 30 min. Sin embargo, se puede aceptar un plazo mayor siempre que el hormigón mantenga su docilidad especificada sin agregar más agua, ya sea mediante el empleo de aditivos u otros métodos eficientes previamente comprobados y que las condiciones ambientales sean favorables.

1.1.3.2 Equipos de transporte.

Los equipos deben ser estancos, de metal u otro material resistente, no absorbente y químicamente inerte con los componentes del hormigón.

En los ductos abiertos inclinados (canoas, canaletas), se debe mantener un flujo continuo y a velocidad uniforme del hormigón. Para este efecto deben:

- a) Tener una longitud no mayor que 7 m.
- b) Terminar con un buzón que provoque una caída vertical del hormigón en su lugar de colocación.
- c) Respetar las pendientes máximas que se indican en la tabla siguiente, según el asentamiento del cono.

Asentamiento de cono Cm	Pendiente Vertical : horizontal
3 a 8	1 : 2
8 a 12	1 : 3

TABLA Nº 3 Pendientes de equipos inclinados.

Fuente: Normas de hormigón, Nch 170.

Sin embargo, se pueden adoptar pendientes y longitudes mayores si se colocan accesorios (tolvas, compuertas) en la ubicación necesaria que aseguren un flujo continuo y una velocidad uniforme.

En los ductos cerrados (tuberías) que tengan un flujo continuo en sección llena, no se aplicaran las resistencias de pendientes indicadas en la tabla 3.

Los medios de transporte deben asegurar la calidad del hormigón, conservando la uniformidad, docilidad, razón a/c, entre otros.

Para su selección se debe considerar principalmente:

- Protección de las condiciones climáticas
- Distancia al punto de colocación
- Capacidad e entrega
- Accesibilidad al punto de colocación
- Características de la mezcla (docilidad o trabajabilidad y tamaño máximo).

A continuación, se presentan los equipos de transporte ocupados, junto a algunas de sus características:

a) Carretilla. Con respecto su empleo, se puede mencionar:

- Distancias no superiores a 7 m
- Terrenos con pendiente inferior a 15%
- Capacidad de 50 a 90 L, con rendimiento aproximado de 0.5 m³/h
- Uso en general en obras menores y de poca altura
- Si la superficie es irregular, se les debe hacer circular sobre tablonés

b) Capachos. Acerca de su uso, algunas observaciones:

- Se emplean generalmente accionados por grúa
- Útil en sitios elevados y de difícil acceso
- La boca de descarga debe tener una abertura mínima de 5 veces el tamaño máximo del árido)
- Las pendientes laterales no deben ser inferiores a 60° (medidas desde la horizontal)
- Alturas máximas de vaciado:
 - ❖ 1 m sobre la superficie dura
 - ❖ 2 m sobre hormigón fresco
- Causa de segregación:
 - ❖ Descarga muy cerca del la capa
 - ❖ Descarga mientras está en movimiento el capacho
- Tiene una capacidad de 0.2 a 6 m³, y un rendimiento aproximado de 5 a 50 m³/h, dependiendo de la capacidad del capacho, de la grua y de la distancia).
- Su disposición de descarga permitirá vaciado vertical, en caso contrario debe incluir un embudo troncocónico (Manga) de longitud mínima 60 cm.

c) Cintas transportadoras. Para su uso, hay que tener presente:

- La pendiente depende de la fluidez, siendo la máxima 20%
- Debe tener un embudo troncocónico de longitud mínima 60 cm en todos los puntos de traspaso o de descarga del hormigón
- Apropriados para distancias cortas
- Este equipo, tiene un rendimiento de 30 a 70 m³/h

- Deben tener un raspador en su extremo de vaciado (para evitar segregación), ya que el hormigón tiende a retornar.

d) Bombas. Para su uso, hay que tener presente que:

- Granulometría del hormigón debe incluir un mínimo contenido de finos menores a 0.25 mm. Para tamaño máximo 40 mm de 410 kg/m³ y para tamaño máximo 20 mm de 480 kg/m³ (incluido el cemento) lo que puede variar dependiendo de otras características del hormigón
- Adecuada para zonas estrechas
- Permiten transportes que dependen de su capacidad, pero normalmente:
 - ❖ Horizontal hasta 300 m
 - ❖ Vertical hasta 90 m
- Es recomendable limitar el tamaño máximo de los áridos a:
 - ❖ 1/3 del diámetro interior de la tubería para áridos chancados
 - ❖ 40% del diámetro interior de la tubería para áridos rodados
- El rendimiento aproximado con presiones de 1.7 a 2.1 MPa se pueden ser entre 11 a 23 m³/h, con presiones superiores, los rendimientos aumentan.

e) Canoas y canaletas. Acerca de su uso, algunas observaciones:

- Se acuerdo a la norma Nch 170, la longitud no debe ser mayor a 7 m
- Debe terminar en un buzón de longitud mínima de 60 cm, tal que provoque caída vertical del hormigón en su lugar de colocación (para evitar segregaciones)
- Pendientes máximas a utilizar, ver tabla 3
- El rendimiento aproximado es de 5 a 10 m³/h y asentamiento recomendado de 6 a 10 cm

- Son adecuadas como elemento complementario para la distribución del hormigón en la zona adyacente al punto de colocación.

f) Mangas. Con respecto su empleo, se puede mencionar:

- Útil para transferir hormigones verticalmente, y para sitios estrechos y de gran altura como muros y pilares
- El escurrimiento de ser a boca llena
- Trazado del tubo debe ser preferentemente vertical y continuo, sin cambios de dirección
- El diámetro del tubo debe ser aproximadamente:
 - ❖ 8 veces el tamaño máximo del árido en los 2 m superiores
 - ❖ 6 veces el tamaño en la parte inferior
- Los materiales plásticos, de caucho o PVC, hay que tener cuidado que no se plieguen o enrosquen, en especial si son de plástico flexible

g) Camión mixer. Para su uso, hay que tener presente:

- Útil para obras con volúmenes significativos
- El camión mixer tiene capacidad que varia entre 3 a 10 m³, tiene un rendimiento aproximado de 20 a 25 m³/h en el vaciado y el asentamiento recomendado es superior a 3 cm, para facilitar el vaciado
- A veces se combina con otro medio de transporte para facilitar el vaciado en el punto de colocación.

h) Camión tolva. Con respecto a su uso, algunas observaciones:

- Uso de velocidades no superiores a 20 km/h (excepto se verifique su uniformidad según la Nch 1789)
- Requiere de elementos adicionales para el traslado del hormigón al punto de colocación
- Debe tener protecciones contra las inclemencias del tiempo
- Tiene capacidad de 3 a 7 m³, y se recomienda un asentamiento igual o inferior a 4 cm (para evitar la segregación y compactación).

1.1.4 Hormigonado.

Se puede considerar el hormigonado como todas las operaciones necesarias para colocar el hormigón de acuerdo a plano y/o especificaciones.

1.1.4.1 Preparación previa.

Comprende los trabajos que se realizan antes de la colocación del hormigón.

La planificación del hormigonado incluye la definición de las etapas de colocación y de los recursos.

a) Etapas de colocación. Las etapas quedan definidas por:

- Superficie de proyecto (juntas de proyecto, terreno natural, superficies terminales)
- Juntas de hormigonado.

Con respecto a la preparación de la superficie a recubrir hay que considerar, varios aspectos, comenzando por la preparación del terreno hasta la limpieza y acondicionamiento de la superficie final.

a.1) Terreno natural o relleno. Para suelo o relleno granular, se debe eliminar la vegetación existente y material orgánico, además de evitar la contaminación del hormigón con el terreno natural o relleno. Ambos deben ser compactados hasta obtener la densidad establecida en el proyecto.

En superficies rocosas, se debe eliminar las zonas demasiado fracturadas y todas las partículas descompuestas, en caso de pequeñas grietas se debe rellenar con lechada o mortero.

Se debe captar y drenar el agua que aflore o fluya hacia la zona donde se colocará el hormigón.

a.2) Hormigón colocado en etapas anteriores (juntas de hormigonado). Toda junta de construcción, prevista o imprevista, debe tratarse adecuadamente, ya que una ejecución inadecuada genera puntos débiles que rompen el monolitismo de la estructura, dejándola vulnerable a ataques químicos, filtraciones y especialmente esfuerzos sísmicos.

La efectividad de una junta depende principalmente del estado de la superficie de contacto (debe estar sin lechada superficial, ya que esta genera una superficie porosa y débil, limpia, sin agregados sueltos y con bordes o esquinas del hormigón no quebrados), de la forma de terminar y continuar el hormigonado, y

del tiempo entre etapas, siendo mejor la adherencia mientras menor sea el tiempo.

- Tratamiento para eliminar la lechada superficial
 - ❖ Sobre hormigón fresco
 - Lavado o cepillado de la superficie
 - Tratamiento mediante retardador superficial
 - ❖ Sobre hormigón endurecido
 - Desbastado mecánico o manual
 - Eliminación de una película superficial de aproximadamente 0.5 cm, dejando a la vista partículas cercanas a 5 mm.
 - Tratamiento mediante puentes de adherencia epoxicos

- Continuación del hormigonado.

Posterior a la limpieza, se continúa el hormigonado colocando una capa de mortero de 1 a 2 cm (de la misma composición del hormigón en uso, sin árido grueso). La primera capa del hormigón fresco se coloca antes que el mortero endurezca. La compactación de esta capa debe incluir el mortero.

a.3) Colocación de moldajes, armaduras e insertos. Con respecto a ellos:

- Los moldajes se deben colocar una vez que tengan el desmoldante aplicado, para no contaminar refuerzos, hormigón colocado previamente y otros.
- Verificar que las armaduras estén en sus posiciones, espaciamientos, formas, grado y dimensiones se ajusten estrictamente a los planos.
- Confirmar ángulos de doblado y longitudes de empalmes o anclajes

- Debes estar limpios, libres de aceites, óxidos y otros.

a.4) Limpieza y acondicionamiento final de la superficie. Se debe tener en consideración:

- Se debe efectuar una limpieza final con agua y/o aire a presión, hasta eliminar todas las suciedades acumuladas.
- El acondicionamiento final, hace alusión a que todas las superficies en contacto con el hormigón deben estar húmedas, sin agua apozada.

b) Recursos.

- Mano de obra (diseño de cuadrillas apropiadas y cantidad de ellas)
- Equipos (adecuados y en cantidad suficiente)
- Materiales (cantidad suficiente de hormigón, moldaje, protecciones y otros).

1.1.4.2 Colocación del hormigón.

Comprende todas las acciones efectuadas desde la llegada al punto de recepción hasta el vaciado en el elemento a hormigonar.

Factores a considerar:

- **Espesor de las capas:** El hormigón se debe colocar en capas horizontales, tal que el vibrador de inmersión penetre la capa de hormigón subyacente. Para lo cual se recomienda, un espesor de 10 cm menor a la longitud de la botella del vibrador de inmersión a usar.

- **Altura máxima de vaciado:** Debe ser la menor posible. Para elementos verticales (muros, pilares y otros) no debe exceder los valores indicados en la norma chilena Nch 170.
- **Temperatura de colocación:** En el momento de colocación se deben cumplir las condiciones de temperatura, de la tabla 4.

Tipo de elemento (dimensión mínima)	Temperatura máxima del hormigón
< 0.8 m	35° C
≥ 0.8 m (hormigón masivo)	16°C

TABLA N° 4 Temperatura de colocación.

Fuente: Norma chilena Nch 170.

Es necesario planificar la operación de hormigonado de modo que no se produzcan interrupciones excesivas en la faena, o acumulación de hormigón. Los equipos de compactación y la mano de obra se deben dimensionar de acuerdo al volumen de hormigón y velocidad de hormigonado.

1.1.5 Compactación.

Comprende la selección de método y equipos, controles y recomendaciones para la compactación del hormigón.

1.1.5.1 Objetivos de la compactación.

El proceso de compactación tiene como objetivo obtener la máxima compacidad del hormigón, eliminando huecos y aire atrapado durante la colocación, asegurando:

- Resistencia mecánica
- Rellenar completamente los moldajes
- Textura superficial requerida
- Durabilidad

1.1.5.2 Métodos de compactación.

Hay diferentes métodos de compactación, ya sean manuales o mecánico. Dentro de los mecánicos, los de vibración son los más usados, especialmente el vibrador interno.

1.1.5.2.1 Métodos manuales. Estos métodos no son recomendables, pues conducen a bajos rendimientos y requieren de cuidadosa supervisión, son utilizados principalmente en obras muy pequeñas.

1.1.5.2.2 Métodos mecánicos vibratorios. La vibración aplicada al hormigón es una serie de impulsos de compresión que reducen la fricción entre las diferentes partículas de sus componentes. El resultado es la ubicación de estas partículas en posiciones más cercanas unas con otras, por su propio peso y por los movimientos rotatorios que les imprime la vibración aplicada. Existen diversos métodos vibratorios mecánicos (Tabla 5).

Métodos mecánicos vibratorios	Usos principales
Vibradores de moldaje	En elementos pre-fabricados
Vibradores de superficies	Pavimentos, losas y pisos
Vibradores internos	Hormigón estructural, hormigón en masa, pisos, elementos pre-fabricados, etc.

TABLA Nº 5 Métodos mecánicos vibratorios.

Fuente: Adaptado de Manual del Constructor, de Cemento Polpaico.

1.1.6 Tratamiento de la superficie hormigonada.

Es esencial una atención especial en la terminación inmediata de las superficies expuestas para obtener un trabajo satisfactorio.

La terminación final se realiza en varios pasos y el buen éxito de cada uno depende del cuidado en las operaciones precedentes.

En primer lugar se necesita un hormigón bien diseñado y de consistencia uniforme en todas las masadas. En general, un asentamiento de cono de 6 cm asegura los mejores resultados, porque permite asegurar la resistencia y durabilidad, además reduce la espera de la evaporación del agua superficial para hacer el platachado o allanado.

1.2 Propiedades del hormigón fresco.

Durante la etapa en que el hormigón se mantiene en estado fresco es de gran importancia poder otorgarle al hormigón una docilidad adecuada al uso que se desea darle.

1.2.1 Docilidad o trabajabilidad.

Es importante señalar que la trabajabilidad es una propiedad de definición algo compleja, pues abarca propiedades de la mezcla fresca que califican la "facilidad de colocación" y "la resistencia a la segregación" como la consistencia y la cohesión respectivamente, medidas con técnicas de laboratorio, y además es una propiedad relativa al tipo y condiciones de obra, dado que una determinada mezcla puede ser trabajable para ciertas condiciones y otras no.

El hormigón fresco debe ser adecuado a las características particulares de cada obra, su trabajabilidad debe permitir recibirlo, transportarlo, colocarlo en los encofrados, compactarlo y terminarlo correctamente con los medios disponibles sin segregación de los materiales componentes.

De ese modo el hormigón elaborado llenará totalmente los encofrados, sin dejar oquedades o nidos de abeja y recubrirá totalmente las armaduras de refuerzo, tanto en pro de la resistencia estructural como para la pasivación del hierro lograda con la lechada de cemento, y quedará con la terminación prevista para la obra.

La consistencia del hormigón fresco es una medida de su resistencia a fluir o ser deformado. El ensayo más difundido para medir esta propiedad es el ensayo del Cono de Abrams, que mide el asentamiento de un cono moldeado con el hormigón fresco, a mayor asentamiento, mayor fluidez (menor consistencia) de la mezcla; o a través de la medición de la dispersión diametral en la mesa de flujo.

Para mejorar la trabajabilidad de un hormigón, se puede añadir agua con la consiguiente disminución de resistencia, o se pueden incluir aditivos plastificantes que no disminuirán su resistencia final.

1.3 Procesos físicos y químicos que experimenta el hormigón en su fabricación y estado fresco.

Durante la etapa en que el hormigón mantiene su estado fresco, experimenta una serie de procesos cuyo origen y consecuencias es necesario conocerlos para tenerlos debidamente en cuenta.

1.3.1 Procesos físicos.

Tiene directa relación con los cambios que pueden ser reversibles, como la exudación del agua de amasado y el fraguado.

1.3.1.1 Exudación del agua de amasado.

Este proceso se produce porque el hormigón está constituido por materiales de distinta densidad real, por lo que tiende a producirse decantación de los con mayor peso unitario, los sólidos, y el ascenso del más liviano, el agua.

Se forma una película superficial en el hormigón, se presenta un contenido de agua mayor que el resto de la masa, ello significa un aumento de la razón agua/cemento, con una consiguiente menor resistencia para dicha capa. Este efecto debe ser especialmente considerado en las obras de hormigón sometidas a desgaste

superficial y en los hormigones utilizados como material de relleno bajo elementos cuyo fondo es horizontal, por ejemplo las placas de fundación.

También, el ascenso del agua da origen a conductos capilares, constituyendo posteriormente vías permeables, afectando la impermeabilidad del hormigón, especialmente por capilaridad. El agua ascendente tiende a acumularse bajo las partículas de mayor tamaño, dejando bajo éstas un espacio vacío, al evaporarse posteriormente, este proceso debe considerarse en las obras hidráulicas y en las fundadas en terrenos húmedos.

La exudación va acompañada por una sedimentación de los materiales sólidos, los que tienden a descender, esto puede significar concentraciones de tensiones internas en los puntos donde la estructura presenta singularidades de forma (variaciones de espesor o de nivel, debido al desigual descenso que se produce a ambos lados de la singularidad), hay que considerarlo en obras de edificación, en los puntos de unión de los pilares y muros de hormigón con las cadenas, losas y vigas, en donde el mayor descenso que experimentan los primeros puede inducir grietas en las zonas de encuentro con los segundos.

Dado que la exudación produce efectos desfavorables, debe ser combatida, para lo cual puede recurrirse a las siguientes medidas paliativas:

- Utilizar un contenido adecuado de granos muy finos en el hormigón, entendiéndose como tales los que tienen un tamaño inferior a 150 micrones, aspecto que se analizará posteriormente en la parte pertinente a dosificación de hormigones.
- Recurrir al empleo de aire incorporado en el hormigón, utilizando aditivos apropiados para este objeto.

- Aumentar el tiempo de amasado del hormigón, con el objeto de facilitar el adecuado humedecimiento de los materiales sólidos por el agua y con ello su retención por parte de éstos.
- Efectuar el hormigonado de las partes que presenten variaciones de espesor en distintas etapas constructivas, o, dejar transcurrir un tiempo de espera para permitir el asentamiento de la zona de mayor espesor. Este tiempo de espera debe ser el máximo posible, pero evitando el endurecimiento del hormigón.

1.3.1.2 Variación de volumen.

El agua de amasado del hormigón tiende a evaporarse si éste no se mantiene en un ambiente saturado de humedad, con lo cual se produce un proceso de secado progresivo desde la superficie externa hacia el interior.

Este desecamiento progresivo acarrea la formación de zonas de contacto entre fases líquidas (agua) y gaseosas (aire) en los conductos y poros que siempre tiene en su interior el hormigón.

Cuando éstos presentan dimensiones capilares, el proceso de tensión superficial interna alcanza una magnitud importante, la que al transmitirse al hormigón se traduce en una contracción de las zonas de hormigón sometidas a este proceso de secamiento.

Este efecto afectará principalmente a la superficie del hormigón, dado que ella es la que se seca primero, mientras que el resto de la masa permanece invariable. Ello induce contracciones diferenciales y, como consecuencia, tensiones de tracción,

originadas en el confinamiento que producen las capas con mayor contenido de humedad sobre las en proceso de secado.

Si este proceso de secado es muy rápido, como sucede cuando el hormigón está sometido a alta temperatura ambiente o a corrientes de viento, ello puede traducirse en grietas del hormigón aún plástico, las que por su origen se presentarán como de gran abertura con relación a su profundidad.

Este fenómeno debe ser combatido, pues las fisuras y/o grietas afectan la durabilidad del hormigón y, en obras de gran superficie y pequeño espesor relativo (pavimentos, losas) introduce una debilidad estructural al significar una disminución de su espesor.

Ello puede lograrse manteniendo un ambiente húmedo en torno al hormigón fresco que impida el inicio del secamiento superficial, que se produce al hormigonar en períodos de alta temperatura o fuerte viento, utilizando pulverizadores que esparzan una neblina húmeda en el sitio hasta que sea posible iniciar el proceso de curado.

Por otra parte, si el agrietamiento se produce y el hormigón aún está suficientemente plástico para responder a la compactación, puede ser recompactado hasta lograr el cierre de dichas grietas.

1.3.2 Procesos químicos.

Los procesos químicos que experimenta el hormigón en su fabricación y estado fresco, comprende los procesos de hidratación, fraguado y endurecimiento de la pasta cemento.

1.3.2.1 Hidratación. La hidratación, corresponde a una reacción química entre el cemento y el agua aplicada a la mezcla.

El cemento está compuesto por: silicato tricálcico, el silicato dicálcico, el aluminato tricálcico y el aluminio ferrito tetracálcico; sin embargo, otros componentes que se encuentran en menor medida, juegan un importante papel durante el proceso de hidratación.

Los dos silicatos de calcio (silicato tricálcico y el silicato dicálcico), constituyen cerca del 75% del peso del cemento Portland, reaccionan con el agua para formar dos nuevos compuestos: el hidróxido de calcio y el hidrato de silicato de calcio, este último es el componente cementante más importante en el concreto, pues las propiedades ingenieriles del concreto (fraguado y endurecimiento, resistencia y estabilidad dimensional), dependen del gel formado por el hidrato de silicato de calcio.

La composición química del silicato de calcio hidratado es en cierto modo variable, pero contiene cal (CaO) y sílice (SiO_2), en una proporción sobre el orden de 3 a 2.

En la pasta de cemento ya endurecida, las partículas diminutas forman uniones enlazadas entre las otras fases cristalinas y los granos sobrantes de cemento sin hidratar; también se adhieren a los granos de arena y a piezas de agregado grueso, cementando todo el conjunto. La formación de esta estructura es la acción cementante de la pasta y es responsable del fraguado, del endurecimiento y del desarrollo de resistencia.

Una vez que el concreto fragua, su volumen bruto permanece casi inalterado, pero el concreto endurecido contiene poros llenos de agua y aire, que no tienen resistencia alguna. La resistencia está en la parte sólida de la pasta, en su mayoría en el hidrato de silicato de calcio y en las fases cristalinas.

Entre menos porosa sea la pasta de cemento, mucho más resistente es el concreto, por lo tanto, cuando se mezcle el concreto no se debe usar una cantidad mayor de agua que la absolutamente necesaria para fabricar un concreto plástico y trabajable. Por lo tanto, el agua empleada es usualmente mayor que la que se requiere para la completa hidratación del cemento.

1.3.2.2 Fraguado y endurecimiento de la pasta de cemento.

El fraguado se define como una condición alcanzada por una pasta cementicia, mortero u hormigón que ha perdido plasticidad hasta un nivel arbitrario, generalmente medido en términos de la resistencia a la penetración o deformación.

Existe un fraguado inicial, el cual se refiere a la primera rigidización, y un fraguado final, el cual hace alusión a una rigidez significativa.

El cemento al ser mezclado con agua forma una pasta, que tiene la propiedad de rigidizarse progresivamente hasta constituir un sólido de creciente dureza y resistencia.

Estas características son causadas por un proceso físico - químico derivado de la reacción química del agua con las fases mineralizadas del clínquer y que en su primera etapa incluye la solución en agua de los compuestos anhidros del cemento, formando compuestos hidratados.

Posterior a la formación de los compuestos hidratados, el proceso no es cabalmente conocido, existiendo teorías que suponen la precipitación de los compuestos hidratados, con la formación de cristales entreverados entre sí que desarrollen fuerzas de adherencia, las que producen el endurecimiento de la pasta (Teoría coloidal de Le Chatelier) o alternativamente por el endurecimiento superficial de un gel formado a partir de dichos compuestos hidratados (Teoría coloidal de Michaelis), estimándose actualmente que el proceso presenta características mixtas.

El endurecimiento de la pasta de cemento muestra particularidades que son de interés para el desarrollo de obras de ingeniería:

- La reacción química producida es exotérmica, con desprendimiento de calor, especialmente en los primeros días.
- Durante su desarrollo se producen variaciones de volumen, de dilatación si el ambiente tiene un alto contenido de humedad o de contracción si este es bajo.

El proceso producido es dependiente de las características del cemento, principalmente de su composición y de su finura, los cuales condicionan en especial la velocidad de su generación.

CAPITULO II.

EL CURADO

2.1 Generalidades del curado.

El curado consiste en propiciar y mantener un ambiente de apropiada temperatura y contenido de humedad en el hormigón recién colocado y acabado, de modo que éste desarrolle el potencial de las propiedades que se esperan de él, tales como:

- Alcanzar su máxima resistencia y durabilidad
- Impermeabilidad y,
- Disminuir riesgo de fisuración.

El proceso de curado del hormigón es la protección que se debe realizar para que sea posible el endurecimiento de la mezcla que tiene previamente fijada una proporción de agua y cemento. Estos al combinarse químicamente producen una reacción que no es instantánea, pues los diferentes componentes del cemento reaccionan con el agua en diferentes tiempos, que van desde unas pocas horas hasta varios meses.

La resistencia potencial necesaria y la durabilidad del hormigón se desarrollan por completo, solamente si es curado correctamente durante un periodo adecuado antes de ponerlo en servicio.

Si la estructura de hormigón no se protege, el agua de amasado se evapora más o menos rápidamente, dependiendo de las condiciones climáticas imperantes y de la extensión de las superficies expuestas a la temperatura ambiental, los vientos, el asoleamiento, la humedad ambiente y la misma temperatura del hormigón.

Para obtener un buen curado del hormigón hay que tener presente:

- a) Contenido suficiente de humedad, para evitar retracción por secado y permitir una adecuada hidratación del cemento.
- b) Temperatura favorable (cercana a 20°C), de modo que la hidratación del cemento se desarrolle a una tasa adecuada.
- c) Prontitud, dado que el curado del hormigón es fundamental en las primeras edades y debe comenzar en cuanto sea posible.

2.2 Factores que alteran el curado.

Diversos son los factores que alteran el curado del hormigón. A continuación se presentan los factores internos del hormigón y externos, que determinan las propiedades del futuro hormigón.

2.2.1 Factores internos.

En relación a los factores propios del hormigón que influyen en el proceso de curado, se encuentran:

- Tipo de cemento
- Relación agua / cemento
- Falso fraguado del hormigón

- Temperatura del hormigón

2.2.1.1 Tipo de cemento. La duración del curado dependerá directamente del tipo de cemento usado. En la mayoría de las aplicaciones, y a menos que las especificaciones técnicas indiquen lo contrario, un criterio adecuado para determinar el período mínimo de curado es el plazo necesario para alcanzar un 70% de la resistencia especificada. En la mayoría de los casos este plazo será de 7 días para el cemento de resistencia corriente y 5 días para el cemento de alta resistencia. En ningún caso, exceptuando curado a vapor, estos plazos deben ser inferiores a 5 y 3 días, respectivamente.

2.2.1.2 Relación agua / cemento (a/c). De la relación agua/cemento, depende la resistencia y la durabilidad, así como los coeficientes de retracción y de fluencia, también determina la estructura interna de la pasta de cemento endurecida. Tiene influencia sobre la resistencia, la durabilidad y la retracción del hormigón.

La relación agua/cemento (a/c) es el cociente entre las cantidades de agua (Lt) y de cemento (Kg) existentes en el hormigón fresco; se calcula dividiendo la masa del agua por la del cemento contenidas en un volumen dado de hormigón.

Dónde:

$$R = \frac{A}{C}$$

R: Relación agua/cemento

A: Masa del agua del hormigón fresco (Lt)

C: Masa del cemento del hormigón (Kg)

La relación agua / cemento crece cuando aumenta la cantidad de agua y decrece cuando aumenta el contenido de cemento. En todos los casos, cuanto más

baja es la relación agua/cemento tanto más favorables son las propiedades de la pasta de cemento endurecida.

La fuerte influencia de la relación agua / cemento, están ligadas al endurecimiento del cemento portland, lo cual se debe a la absorción química de agua por los constituyentes del cemento, especialmente por 3 CaOSiO_2 (silicato tricálcico) y el 2 CaOSiO_2 (silicato dicálcico).

La pasta de cemento se endurece formando un gel progresivamente más estable. En la práctica se emplean relaciones agua/cemento desde 0,23 hasta 0,55. Para las aplicaciones que requieran baja trabajabilidad (hay compactaciones a altas presiones) se emplean relaciones bajas. Por el contrario, si se requiere buena trabajabilidad las relaciones agua/cemento son altas.

Esta representación simple de la formación de la pasta de cemento endurecida motiva las constataciones siguientes:

- 1.- La influencia de la relación agua / cemento sólo concierne a la pasta de cemento endurecida y no depende ni del tenor del cemento ni de las propiedades de los agregados del hormigón.
- 2.- La disminución de la resistencia del hormigón debida al aumento de la relación agua / cemento se explica por la disminución de la compacidad de la pasta de cemento.
- 3.- La porosidad incrementada debido a un aumento de la relación agua / cemento acarrea una disminución de la compacidad y en consecuencia de la resistencia química del hormigón.

4.- La cantidad suplementaria de agua, libre y móvil en la pasta de cemento endurecida, provoca un aumento del coeficiente de retracción del hormigón.

2.2.1.3 Falso fraguado del hormigón. El falso fraguado ocurre cuando reacciona rápidamente el cemento y agua, con lo cual el hormigón se puede volver espeso al cabo de unos minutos y volverse completamente intrabajable debido al calor emitido.

Este proceso parece provenir de un comportamiento anómalo del yeso adicionado al cemento en la etapa de molienda del clínquer como regulador de su fraguado, el cual, debido a las altas temperaturas originadas durante la molienda, puede perder parte del agua de cristalización.

El agua perdida es recuperada, extrayéndola del agua de amasado del hormigón, con lo cual el yeso cristaliza, adquiriendo rigidez. Este endurecimiento se conoce con el nombre de falso fraguado y produce una rigidización del hormigón aún en estado fresco, en los primeros minutos posteriores a la adición del agua de amasado, lo cual dificulta enormemente su manipulación en los procesos de transporte, colocación y compactación.

Para evitar estos efectos desfavorables, un procedimiento efectivo consiste en aumentar el tiempo de amasado, lo que permite romper la cristalización producida y devolver al hormigón la plasticidad perdida sin necesidad de adición de agua.

2.2.1.4 Temperatura del hormigón. La temperatura afecta la velocidad de las reacciones químicas, y una regla práctica general es que una velocidad de reacción química se duplica por cada incremento de 10 °C en la temperatura.

La temperatura influencia la velocidad del fraguado y el endurecimiento. El curado del hormigón por encima de ciertas temperaturas críticas puede conducir a la expansión y fisuración asociadas con la formación de etringita diferida.

Mantener la temperatura del hormigón en valores cercanos a 20°C (superior a 10 ° C e inferior a 30 ° C) permite que la tasa de desarrollo de resistencia permanezca en niveles normales.

La temperatura del hormigón puede influir además en la pérdida de humedad superficial, dado que diferencias térmicas entre el elemento y el ambiente pueden aumentar la tasa de evaporación.

2.2.2 Factores externos.

Si la estructura de hormigón no se protege, el agua de amasado se evapora más o menos rápidamente, dependiendo de las condiciones climáticas imperantes y de la extensión de las superficies expuestas a la temperatura ambiental, los vientos, el asoleamiento, la humedad ambiente y la misma temperatura del hormigón.

Una combinación desfavorable de esas variables puede incrementar fuertemente la tasa de evaporación superficial, lo que aumenta el riesgo de fisuración por retracción plástica y en general puede afectar la durabilidad del hormigón.

La velocidad de evaporación depende: de la humedad relativa, del aumento de temperatura del aire y hormigón y de la velocidad del viento. Pequeños cambios en estas condiciones atmosféricas pueden tener un efecto pronunciado en la velocidad de evaporación, especialmente si ocurren simultáneamente.

a) Temperatura ambiental. Es conocido el que las temperaturas extremas afectan al comportamiento del hormigón, por lo que hay que saber manejarlas.

Cuando, tanto la temperatura del aire como la del hormigón, aumenta de 10° C a 21° C, la evaporación se duplica; si continúa aumentando hasta 32° C, la evaporación es cuatro veces mayor.

Para una temperatura ambiente de 4° C, la evaporación se triplica cuando la temperatura del hormigón aumenta de 16° C a 27° C.

Según la Norma Chilena, la Nch 170 establece tiempo frío si al menos uno de los 7 días previos al hormigonado registra temperatura media (promedio entre máxima y mínima del día) inferior a 5°C. Por su parte, el código ACI 306R (Cold Weather Concreting) indica tiempo frío si por más de 3 días consecutivos la temperatura media diaria es menor a 5°C, y a su vez no es mayor a 10°C por más de medio período cualquiera de 24 horas.

La condición de tiempo frío puede variar según la normativa, sin embargo, lo importante es tomar medidas especiales siempre que la temperatura ambiente descienda bajo los 5°C, pues el hormigón puede sufrir daño considerable cuando la temperatura decrece al punto que el agua contenida en mezclas frescas o en hormigones jóvenes se congela.

Por su parte, la norma Nch 170, considera hormigonado en condiciones de tiempo caluroso, cuando las condiciones ambientales induzcan una evaporación igual o mayor que 1 kg de agua/m²/hora, la temperatura del hormigón en el momento debe

ser menor que 30°C en elementos corrientes, y menor que 16°C en elementos cuya menor dimensión exceda de 0.80 m.

Las altas temperaturas por si solas, produce una rápida evaporación del agua en la superficie del hormigón, acelerar el fraguado, etc., lo cual puede incrementar la demanda de agua, que hará aumentar la relación agua/cemento, y acabará por producir una menor resistencia. La alta temperatura tiende a acelerar la pérdida de plasticidad que a su vez reduce la cantidad de aire incluido en el hormigón.

La rápida evaporación puede provocar una retracción plástica prematura o la fisuración por retracción durante el secado, así mismo la alta velocidad de evaporación elimina el agua de la superficie necesaria para la hidratación, excepto cuando se usen métodos de curado adecuados. Las elevadas temperaturas también aceleran la hidratación del cemento y contribuye al fisuramiento potencial de estructuras de hormigón en masa.

b) Viento. La velocidad de evaporación se hace cuatro veces mayor cuando la velocidad del viento aumenta de cero a 16 km, y nueve veces para una velocidad del viento de 40 km/hora, por lo que se deben tomar medidas de protección, como disponer de cierres o protecciones alrededor de los elementos hormigonados.

c) Humedad ambiente. Generalmente las altas humedades relativas tienden a reducir los efectos de las altas temperaturas. Cuando la humedad relativa disminuye del 90% al 50%, la velocidad de evaporación aumenta cinco veces; si se reduce al 10%, la evaporación se incrementa nueve veces.

Es evidente, entonces, que la velocidad de evaporación es máxima cuando la humedad relativa es baja, cuando las temperaturas del hormigón y del aire son elevadas, cuando la temperatura del hormigón es mayor que la del aire y cuando el viento actúa sobre la superficie del hormigón.

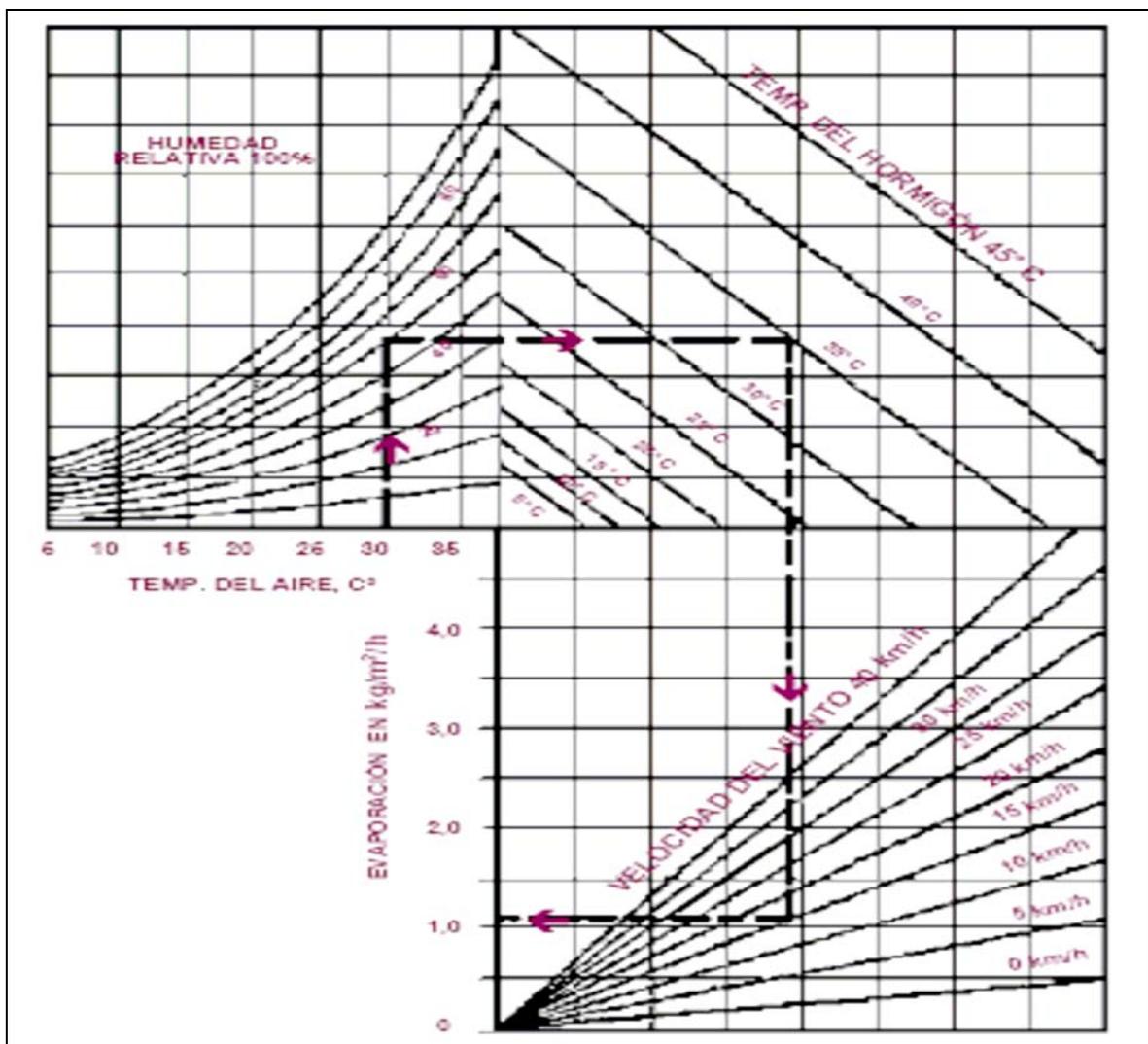


FIGURA N° 1 Efecto de la temperatura y del hormigón, la humedad relativa y la velocidad del viento sobre la evaporación en el hormigón.

Fuente: Norma Nch 170, anexo E.

Según la Figura N° 1, la tasa de evaporación se puede estimar siguiendo los siguientes pasos:

1. Ingrese con la temperatura del aire, muévase hacia arriba a la humedad relativa.
2. Muévase hacia la derecha a la temperatura del hormigón.
3. Muévase hacia abajo a la velocidad del viento.
4. Muévase hacia la izquierda: lea la evaporación en $\text{kg/m}^2/\text{h}$.

Si la tasa de evaporación es mayor que $1.0 \text{ kg/m}^2/\text{hora}$ necesariamente se deben tomar precauciones adicionales al curado para evitar el agrietamiento por retracción plástica. Si la tasa es superior a $0.5 \text{ kg/m}^2/\text{hora}$ se deberá evaluar si estas medidas deben ser implementadas.

La combinación de calor, tiempo seco y fuertes vientos, que se produce frecuentemente en los meses de verano, elimina la humedad superficial antes de que pueda ser reemplazada por la exudación normal; pero, aun en tiempo frío, es posible un desecamiento rápido de la superficie del hormigón, si al ser colocado su temperatura es elevada en comparación con la del aire.

2.3 Tipos de curado.

Hoy en día existen diversos métodos, procedimientos y materiales para el curado, sin embargo, el principio es el mismo: garantizar un contenido satisfactorio de humedad y temperatura para que se desarrollen las propiedades deseadas en el hormigón.

De los diversos tipos de curado (mediante inundación superficial, con mantos húmedos o con cubiertas que impidan la evaporación del agua), el más aconsejable, sin embargo, es el curado con agua debido a la baja relación agua-cemento de los hormigones de alto desempeño.

Los sistemas de curado se pueden dividir en dos grandes grupos:

- Curado con agua
- Curado con materiales sellantes.

2.3.1 Curado con agua.

El agua sigue siendo el método más efectivo de curado. Sin embargo, cuando se opta por este método deben considerarse los aspectos económicos del procedimiento, puesto que la disponibilidad de agua, mano de obra y materiales influirán en los costos.

Para realizar este tipo de curado, hay que mantener húmedas las superficies del hormigón, mediante riego directo que no produzca deslavado.

Cualquiera sea el método elegido de curado con agua, éste debe proporcionar una cubierta completa y continua de agua libre de componentes que puedan dañar la pasta de cemento. Si el aspecto del hormigón es un factor relevante, el agua además debe estar libre de materiales que manchen o decoloren el hormigón. Se deben evitar los choques térmicos o fuertes gradientes de temperatura por el empleo de agua fría sobre el hormigón.

Dentro de esta clasificación se puede diferenciar los siguientes:

a) Inundación o inmersión. Es el método más eficiente de curado con agua. La inundación se puede emplear en forjados, pavimentos, techos planos, o cualquier superficie donde sea posible retener el agua o exista una corriente continua de agua. Es importante evitar la pérdida prematura o súbita del agua, así como los choques

térmicos que se producirían si el agua de curado está muy fría, ya que puede generar agrietamiento. La diferencia de temperatura entre el hormigón y el agua no debe superar 10° C.

b) Nebulización o rocío. Suelen emplearse los aspersores de riego de jardines. El rociado con agua debe ser continuo y constante. Es un buen método de curado cuando la temperatura ambiente es superior a unos 10°C. Es un método útil en superficies verticales.

c) Cubiertas de material absorbente. Sacos, arpilleras, mantas de algodón y otras cubiertas absorbentes son útiles en la retención del agua superficial del hormigón. Se disponen sobre la superficie de hormigón y se empapan con agua. Debe considerarse que mientras más pesado el saco, más agua retendrá y será necesario mojarlo con menor frecuencia. Es conveniente colocar los sacos traslapados, para una mejor retención de humedad y estabilidad contra el viento o lluvia. Estos materiales deben estar libres de sustancias que dañen y decoloren el hormigón, así como tomarse medidas para evitar la putrefacción y la acción del fuego.

d) Arena y aserrín. Prácticamente ya no se utilizan, la arena, el aserrín e incluso tierra húmeda se han usado con éxito en el curado de losas y pisos de obras pequeñas. Los materiales no deben contener cantidades peligrosas de materia orgánica u otra que pueda dañar el hormigón (el aserrín, por ejemplo, puede contener cantidades excesivas de ácido tánico y en este caso no debe usarse). La arena y el aserrín son especialmente útiles para proteger además las superficies contra la erosión y manchas cuando el personal de obra debe trabajar sobre ellas.

2.3.2 Curado con materiales sellantes.

Los materiales sellantes son hojas o membranas colocadas sobre el hormigón que reducen la pérdida de agua por evaporación.

Su uso tiene ventajas que los hacen preferibles en una gran cantidad de casos, siendo una de las principales, el menor riesgo que el hormigón se seque por un descuido en el mantenimiento de la humedad.

Asimismo, son materiales de fácil manejo y pueden aplicarse antes que los métodos con agua. Son especialmente útiles en losas y elementos masivos en regiones áridas. Dentro de esta clasificación se puede diferenciar los siguientes: películas plásticas y compuestos líquidos formadores de membrana de curado.

2.3.2.1 Películas plásticas.

Consisten en láminas ligeras de un material plástico, generalmente polietileno, que se disponen sobre el hormigón tapando o envolviéndolo lo más herméticamente posible.

Tienen la ventaja de ser livianas y fáciles de colocar. La película debe poseer un espesor superior a 0.10 mm. En climas soleados es recomendable el uso de películas que reflejen los rayos solares (blancas), mientras en climas fríos o espacios interiores son recomendables películas de color negro (deben evitarse en climas cálidos).

Se deben colocar sobre la superficie húmeda del hormigón lo antes posible, sin producirle daño y cubriendo todas las partes expuestas. Deben quedar bien sujetas, manteniéndose en contacto con la superficie durante el tiempo de curado y deben ser protegidas del deterioro.

En superficies planas, como losas y pavimentos, la película debe extenderse más allá de sus bordes una distancia de al menos el doble del espesor del elemento.

El plástico debe ser colocado en forma plana y sin arrugas sobre la superficie, para minimizar la decoloración del hormigón. Una buena práctica es colocar tiras de plástico a lo largo de los bordes verticales sobre la hoja superficial, asegurándolos con arena o madera, lo que permite quitar fácilmente la cubierta plástica luego del curado y evitando daños por rotura o dobleces. Las películas plásticas no se recomiendan cuando la apariencia del hormigón es importante, pues pueden manchar las superficies.

2.3.2.2 Compuestos líquidos formadores de membrana de curado.

Estos productos actúan sobre el hormigón formando una membrana o película destinada a evitar la evaporación superficial, proporcionando condiciones adecuadas de curado.

Los compuestos consisten principalmente en ceras, resinas naturales o sintéticas y solventes de gran volatilidad, y no deben ser dañinos a la pasta de cemento. Algunos de ellos incorporan pigmentos blancos o grises para el reflejo de la radiación y/o hacer visible su aplicación en el hormigón.

Existen compuestos de curado que disminuyen la adherencia al hormigón, y en tal caso no deben emplearse en superficies que van a ser revestidas (pintura, cerámica, mortero, capas adicionales de hormigón, etc.), a menos que puedan ser retirados efectivamente.

El uso de estos compuestos exige adecuada ventilación y precauciones de seguridad. Usualmente, los compuestos formadores de membrana se aplican en dosis que varían de 0.20 a 0.25 litros/m² (rendimiento de 4.0 a 5.0 m²/litro). Idealmente, el compuesto se debe aplicar en capas perpendiculares sobre la superficie para asegurar una cobertura total.

Sobre superficies muy texturizadas, como la de algunos pavimentos, pueden ser necesarias dos o más aplicaciones (esperando que la primera se haga pegajosa antes de aplicar la segunda).

Normalmente los compuestos de curado se aplican con bomba manual, aunque en áreas pequeñas, como el caso de reparaciones, el compuesto puede aplicarse con brocha o rodillo. Dado que la membrana de curado puede influir en la textura y color del hormigón, se debe considerar su efecto sobre las superficies expuestas.

2.4 Tiempo de curado. El plazo de curado dependerá principalmente del método elegido, del tipo de cemento, del tamaño y forma del elemento y las condiciones ambientales (temperatura y humedad).

Debe iniciarse tan pronto como sea posible, antes que desaparezca el agua de exudación y cuando hay terminación superficial, apenas terminada ésta.

En consiguiente, los tiempos mínimos para el curado expresado por la Nch 170 of 85 dice que: cemento grado alta resistencia, por un período de 4 días; cemento grado corriente, por un período de 7 días. En caso de, no aplicar un curado a tiempo, o bien si el curado es intermitente, sobre todo durante los tres primeros días, hay peligro de aparición de grietas superficiales y de generación de superficies polvorientas, lo que afecta la durabilidad y resistencia del hormigón.

Por lo tanto, se debe prestar especial atención a aquél hormigón que no esta protegido por los moldajes, como por ejemplo los pisos terminados, tiende al secado rápido en un recinto calentado.

En particular, cuando un hormigón es calentado a más de 16°C y expuesto a una temperatura del aire de 10°C, es indispensable que se tomen medidas positivas a fin de evitar el secado.

Las condiciones más críticas de curado que precisan mayores períodos aparecen en ambientes calurosos o fríos con vientos fuertes y secos y cementos con adición de puzolanas.

2.5 Consecuencias por la falta de curado.

Un curado inadecuado favorece la formación de fisuras y disminuye la impermeabilidad, la resistencia a la intemperie, al desgaste y al ataque de químicos.

No siempre es posible determinar el grado de eficiencia del curado en la durabilidad, puesto que las condiciones atmosféricas juegan un papel muy importante en dicho proceso.

A continuación se presentan algunas consecuencias producto de un curado deficiente.

2.5.1 Fisuras de retracción plástica.

Debidas a la evaporación rápida del agua del hormigón fresco, que genera una deshidratación precoz de la superficie, que contrae y somete al hormigón en estado plástico a una serie de tensiones internas.

Cuando la tasa de evaporación excede la capacidad que el hormigón tiene para entregar agua, se produce un resecamiento en la masa y, por ende, una contracción volumétrica. Dicha contracción provoca tensiones de tracción en el hormigón, la que si supera a la capacidad que éste tiene para resistirla, se inducirán fisuras.

Las fisuras de retracción plásticas, se producen unas horas después de colocarse el hormigón, pero a veces no se aprecian hasta los 2 o 3 días, varían desde unos pocos centímetros de largo hasta 1,50 ó 2 metros y suelen tener una profundidad de 2 a 3 centímetros, aunque pueden penetrar hasta la mitad o más del espesor de la losa cuando las condiciones ambientales son muy adversas y las prácticas de protección y curado resultaron deficientes.

Las fisuras de retracción plástica resultan en general relativamente cortas, poco profundas y erráticas que pueden aparecer en el estado fresco del hormigón durante los trabajos de terminación en días ventosos, con baja humedad y alta temperatura del aire.

La rápida evaporación de la humedad superficial supera a la velocidad ascendente del agua de exudación, causando que la superficie del hormigón se contraiga más que el interior.

Las fisuras de retracción plástica se producen en elementos del tipo plano o cáscara, implica el hormigonado de grandes superficies no protegidas como las losas de estructura, de pavimento o de piso, que al estar sometidas a condiciones atmosféricas que favorezcan una rápida evaporación del agua superficial, sufren una contracción diferencial que genera las fisuras.

El patrón de fisuración es variado, tomando direcciones aleatorias o paralelas, cuya orientación depende de la dirección del viento (normalmente son paralelas a ésta), sin llegar por lo general a los bordes del elemento.

2.5.2 Asentamiento plástico.

Se produce en las primeras tres horas, como efecto de la exudación y su magnitud depende de ésta. Los daños se producirán, dependiendo de las restricciones existentes y son más comunes en piezas de altura importante.

Si hay restricciones como barras de refuerzo u hormigón ya colocado, pueden producirse vacíos y fisuras amplias y poco profundas, adyacentes al elemento restrictor, de escasa trascendencia estructural. La fisuración puede aumentar con vibrado deficiente o con el uso de encofrados que pierdan agua o muy flexibles.

Se previene con:

- Uso de moldajes apropiados.
- Adecuado vibrado.
- Bajo cono y aumento en el recubrimiento de las armaduras.
- Al hormigonar un elemento vertical, dejar transcurrir unos 45 a 60 minutos antes de continuar con el elemento horizontal para permitir que el hormigón del elemento vertical sedimente.

El asentamiento plástico tiende a ser más frecuentes en elementos de mayor espesor como vigas, tabiques y columnas aunque en casos extremos también se presentan en losas y otras estructuras laminares cuando la exudación del hormigón resulta excesiva.

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN ESPECÍFICA DE LA INVESTIGACIÓN.

3.1 Diseño de la mezcla de amasado del hormigón.

Los materiales a utilizar para el hormigón, serán: cemento corriente, agua potable, en cuanto a áridos fueron: grava, gravilla y arena. En todas las mezclas no se modificará ni la cantidad ni el tipo de material utilizado, ya que solo variará el tipo de curado a utilizar posteriormente.

3.1.1 Ensayos realizados a los áridos para la dosificación.

Se realizaron todos los ensayos exigidos para la dosificación, según norma Nch 170. Además se comprobaron requisitos generales establecidos por la norma Nch 163.

Para la confección de la dosificación se utilizará grava, gravilla y arena, cuyos porcentajes utilizados cumplen con todos los requisitos granulométricos exigidos por la norma Nch 163.

a) Granulometría.

Ensayo realizado según norma Nch 165, obteniéndose los siguientes resultados:

• **Grava.**

Tamiz	M. Retenido	% M. Retenido	% Ret. Parcial.	% que pasa
1 1/2"	0	0	0	100
1"	3303	77	77	23
3/4"	950	22	99	1
1/2"	50	1	100	0
3/8"	0	0	100	0
Nº 4	0	0	100	0

TABLA Nº 6 Resultado granulometría grava.

Fuente: Elaboración propia.

• **Gravilla.**

Tamiz	M. Retenido	% M. Retenido	% Ret. Parcial	% que pasa
3/4"	320	9,13	9,13	91
1/2"	1866	53,24	62,37	38
3/8"	994	28,36	90,73	9
Nº 4	318	9,07	99,80	0
RESIDUO	7	0,20	100,00	0

TABLA Nº 7 Resultado granulometría gravilla.

Fuente: Elaboración propia.

• **Arena.**

Tamiz	M. Retenido	% M. Retenido	% Ret. Parcial	% que pasa
3/8"	30	2,50	2,50	97
nº 4	207	17,26	19,77	80
nº 8	156	13,01	32,78	67
nº 16	124	10,34	43,12	57
nº 30	348	29,02	72,14	28
Nº 50	269	22,44	94,58	5
Nº 100	51	4,25	98,83	1
Nº 200	11	0,92	99,75	0
RESIDUO	3	0,25	100,00	0

TABLA Nº 8 Resultado granulometría arena.

Fuente: Elaboración propia.

b) Materia Orgánica.

Ensayo realizado a la arena según norma Nch 166. Obteniéndose como resultado "NIVEL 2".

c) Material Fino menor que 0,080 mm.

Ensayo realizado según norma Nch 1223, obteniéndose:

ÁRIDO	% M.F. < 0,08 mm
Grava	0,7
Gravilla	0,9
Arena	1,3

TABLA N° 9 Resultado ensayo material fino menor a 0.080 mm para áridos.

Fuente: Elaboración propia.

d) Densidades Reales, Netas y Absorción.

Ensayo realizado según norma Nch 1117, para la grava y Nch 1239 para la arena. Obteniéndose los siguientes resultados:

• Grava.

Detalle	Peso (kg)	Densidad real sss (Kg/m ³)	2,71
Masa sss	4,67	Densidad real seca (Kg/m ³)	2,69
Masa sumergida	2,95	Densidad neta (Kg/m ³)	2,75
Masa seca	4,64	Absorción (%)	0,71

TABLA N° 10 Resultado ensayo de densidades reales, netas y absorción grava.

Fuente: Elaboración propia.

• Gravilla.

Detalle	Peso (kg)	Densidad real sss (Kg/m ³)	2,78
Masa sss	2,02	Densidad real seca (Kg/m ³)	2,74
Masa sumergida	1,3	Densidad neta (Kg/m ³)	2,86
Masa seca	1,99	Absorción (%)	1,48

TABLA N° 11 Resultado ensayo de densidades reales, netas y absorción gravilla.

Fuente: Elaboración propia.

• **Arena.**

Detalle	Peso (grs)
Masa del matraz con agua	660,74
Masa del matraz con agua + muestra	698,07
Masa muestra sss	60,17
Masa muestra seca	59,11

Densidad real sss (Kg/m ³)	2,63
Densidad real seca (Kg/m ³)	2,59
Densidad neta (Kg/m ³)	2,71
Absorción (%)	1,79

TABLA Nº 12 Resultado ensayo de densidades reales, netas y absorción arena.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 Dosificaciones.

Para efectuar las comparaciones se confeccionarán hormigones con dos grados diferentes, uno será ensayado solo a compresión y el otro será ensayado a compresión y flexotracción.

Los materiales serán los mismos en todas las mezclas puesto que todas las variables permanecerán constantes a excepción del método de curado a emplear.

El grado de los hormigones será: H-25, H-30.

a) Resistencia media requerida (Fr).

Esta dada por el nivel de confianza, por la desviación estándar y la resistencia especificada. Para nuestro diseño utilizaremos:

- un nivel de confianza de 80%, lo que nos entrega un factor estadístico (t) de 0,842.

- una desviación estándar (s) de 47,6 Kgf/cm².

- la resistencia a compresión a 28 días solicitados (Rc), en Kg/cm².

$$f_r = R_c + s \cdot t$$

Entonces para:

- Dosificación H-25 $f_r = 290$ [Kgf/m²].

- Dosificación H-30 $f_r = 340$ [Kgf/m²].

b) Porcentaje de los áridos necesarios para la mezcla.

La granulometría esta normalizada en la norma Nch 163 en las tabla 2.5 (anexa). Cumpliendo estos requisitos se obtienen los porcentajes de arena y grava a utilizar en la mezcla.

MALLAS ASTM	% que pasa			Grava	Gravilla	Arena	Granulometría de la mezcla	Especif. T.M. 40 mm
	Grava	Gravilla	Arena	28%	27%	45%		
1/12"	100	100	100	28,00	27,00	45,00	100,00	100
1"	23	100	100	6,44	27,00	45,00	78,44	-
3/4"	12	91	100	3,36	24,57	45,00	72,93	60 - 80
1/2"	1	38	100	0,28	10,26	45,00	55,54	-
3/8"	0	9	97	0,00	2,43	43,65	46,08	40 - 61
Nº 4	0	0	80	0,00	0,00	36,00	36,00	24 - 48
Nº 8	0	0	67	0,00	0,00	30,15	30,15	15 - 37
Nº 16	0	0	57	0,00	0,00	25,65	25,65	10 - 28.
Nº 30	0	0	28	0,00	0,00	12,60	12,60	6 - 9.
Nº 50	0	0	5	0,00	0,00	2,25	2,25	3 - 11.
Nº 100	0	0	1	0,00	0,00	0,45	0,45	2 - 5.

TABLA Nº 13 Ajuste de porcentaje de grava y arena a bandas granulométricas.

Fuente: Elaboración propia.

De estos requisitos, se obtiene que para el tipo de material que se utilizara en la confección del hormigón, la proporción que mejor se adapta a las bandas granulométricas es la de 28% de grava, 27% de gravilla y 45% de arena.

c) Razón Agua-Cemento.

Una vez obtenido f_r , se calcula la razón agua-cemento, esta razón es extraída, de la tabla nº 3 de la NCh 170. Depende del tipo de cemento a utilizar, de la resistencia media requerida calculada anteriormente.

Las razones A/C para fr del H-25 y H-30 salen directamente de la tabla. Las Razones A/C para las dosificaciones H-25 y H-30 serán: 0.50 y 0.45 respectivamente.

▪ **Agua.**

La cantidad de agua estará condicionada por la docilidad (cono) que debe tener el hormigón. Y se obtiene de la tabla nº 22 de la NCh 170.

El cono que se le exigió a las mezclas de los hormigones H-25 y H-30 es 6-9. Entonces para este cono, según tabla, la cantidad de agua a introducir es de 170 lts, para un metro cúbico.

▪ **Cemento.**

Esta se calcula una vez obtenida la razón agua cemento (A/C) y la cantidad de agua (A) a introducir en la mezcla.

$$C = \frac{A}{A/C}$$

Tenemos entonces que las cantidades de cemento (C) para un metro cúbico de hormigón será de:

- Para H-25, la cantidad es de 340 Kg de Cemento.
- Para H-30, la cantidad es de 378 Kg de Cemento.

d) Aire.

La cantidad de aire considerada en la mezcla, se obtiene, según el tamaño máximo nominal del árido, de la tabla nº 23 de la norma Nch 170. Entonces para el tamaño máximo nominal, de 40 mm, que es el que posee el árido a utilizar en las mezclas, la cantidad de aire a considerar es de 10 lts. Esta cantidad es utilizada para las dos dosificaciones ya que el material será el mismo.

e) Áridos.

La cantidad de los áridos se calcularán de la siguiente forma:

$$V = 1000 - \left(A + \frac{C}{3} + \text{aire} \right)$$

Donde:

V: Volumen que ocuparan los áridos.

A: Dosis de agua, calculada anteriormente.

C: Cantidad de cemento, calculado anteriormente.

Aire: Cantidad de aire, calculado anteriormente.

- Dosificación H-25 V = 707lts.
- Dosificación H-30 V = 694lts.

Obtenido V, se calculará el peso de los áridos, lo que se hará utilizando la siguiente fórmula:

$$P = V * \frac{\partial_{rg} * \partial_{ra}}{\% a * \partial_{rg} + \% g * \partial_{ra}}$$

Donde:

P : Peso total de los áridos.

$\hat{\rho}_{ra}$: Densidad real arena.

$\hat{\rho}_{rg}$: Densidad real grava.

$\%a$: Porcentaje de arena.

$\%g$: Porcentaje de grava.

• Dosificación H-25 $P = 1870$ [kg].

Arena : $1870 * 0,45 = 841,61$ [kg].

Gravilla : $1870 * 0,27 = 504,97$ [kg].

Grava : $1870 * 0,28 = 527,67$ [kg].

• Dosificación H-30 $P = 1837$ [kg].

Arena : $1837 * 0,45 = 826,61$ [kg].

Gravilla : $1837 * 0,27 = 495,97$ [kg].

Grava : $1837 * 0,28 = 514,34$ [kg].

f) Resumen.

El siguiente resumen se hará para un metro cúbico y además se incluirá la cantidad utilizada para hacer los hormigones patrones.

Resumen H-25

Fr	Kgf/cm ²	290
Razón A/C	-	0,50
Cemento	Kg.	340,05
Agua	Lts.	170,00
Grava	Kg.	523,67
Gravilla	Kg.	504,97
Arena	Kg.	841,61

TABLA N° 14 Dosificación H-25, para un metro cúbico.

Fuente: Elaboración propia.

Resumen H-30

Fr	Kgf/cm ²	340
Razón A/C	-	0,45
Cemento	Kg.	377,84
Agua	Lts.	170,00
Grava	Kg.	514,34
Gravilla	Kg.	495,97
Arena	Kg.	826,61

TABLA N° 15 Dosificación H-30, para un metro cúbico.

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Confección de la mezcla de Prueba.

Todas las mezclas de pruebas serán confeccionadas según la norma Nch 1018 "Preparación de mezclas de prueba en laboratorio". Se utilizó el método húmedo de esta norma.

Se determinó el volumen considerando un 50% más del necesario para llenar los moldes que se utilizaron. A continuación detallaremos todos los pasos seguidos, en cada una de las muestras patrones.

1º.- El día anterior a la realización de los hormigones se procedió a humectar el árido, de acuerdo a lo establecido en la norma Nch 1018.

2º.- El día de la confección de las muestras antes de pesar los materiales se midió la humedad de los áridos y luego se procedió a realizar las correcciones por humedad.

3º Realizada ya las correcciones, se procede a medir los materiales, según cantidad corregida.

4º Reunido todos los materiales se procedió a ejecutar la mezcla de la siguiente forma:

- Previo a esto se humedeció la betonera, para que esta no absorbiera el agua de amasado.
- Se agregó la arena dentro de la betonera.
- Posteriormente se agregó el cemento, y se mezclaron con la arena hasta quedar de apariencia homogénea.
- Luego de esto se agregó la grava, y se volvió a mezclar nuevamente hasta quedar de apariencia homogénea.

Finalmente se agregó el agua de amasado, la cual se encarga de hidratar el cemento para que este se convierta en el agente ligante que finalmente se encargará de unir a todos los materiales para formar el hormigón propiamente tal.

- Una vez que la mezcla estuvo lista, se procedió a retirarla de la betonera, poniéndola en una carretilla para homogenizarla, revolviéndola con una pala.

5º Luego se procede a medir la docilidad del hormigón, lo cual se hace utilizando el cono de abrams, y siguiendo el procedimiento establecido en la Nch 1019.

Los resultados fueron satisfactorios, puesto que los valores obtenidos se encontraron dentro de lo esperado, esto quiere decir entre 6 cm. y 9 cm., que fue el cono que se eligió de la tabla N° 22 de la norma Nch 170.

6º Se transportó la mezcla hasta el lugar donde se llenaron y curaron las probetas.

El lugar elegido fue fuera del laboratorio, donde las probetas estuvieron expuestas a todas las condiciones ambientales y climáticas existentes al momento del llenado y posterior curado del hormigón, lo que ocurre habitualmente en obra.

Condiciones tales como:

- Viento
- Humedad ambiente
- Asoleamiento
- Cambios de temperatura
- Presencia de CO₂ en el ambiente, etc.

7º Se procede a llenar las probetas de ensayo, lo que fue realizado según la norma Nch 1017. Todas las probetas fueron compactadas con vibrador, ya que todos los hormigones tuvieron conos inferiores a 10 cm.

- Se llenaron los moldes en una sola capa, tanto los cúbicos como los prismáticos.
- En los moldes cúbicos se introdujo el vibrador en forma vertical en el centro, se hizo llegar hasta casi 2 cm del fondo, una vez aparecida la lechada, se retiró lentamente el vibrador.
- En los moldes prismáticos se introdujo el vibrador en cuatro partes repartidas uniformemente en el eje longitudinal central, también las inserciones se hicieron hasta casi llegar a los 2 cm del fondo y el vibrador fue retirado lentamente, una vez aparecida la lechada.

8º Luego de compactados los moldes se procedió a enrasar con la varilla pisón haciendo movimientos de aserrado, y finalmente con una llana se procedió a darle la terminación final.

3.3 Descripción de los métodos de curado.

Inmediatamente después de alisada la superficie se procedió a cubrir las probetas con una lámina de polietileno.

Después de un par de horas, una vez comenzado el fraguado de la mezcla se le retiró la lámina de polietileno a las probetas, a excepción de las probetas curadas

con polietileno, para comenzar a realizarles el curado correspondiente propiamente tal.

3.3.1 Curado con una lámina de polietileno.

Este tipo de curado consistió en cubrir la superficie expuesta del hormigón con una lámina de polietileno inmediatamente después de realizado el acabado de la superficie, y solo se le quito al momento del desmolde, el cual se efectuó después de 48 horas del llenado de las probetas e inmediatamente se volvió a cubrir la pieza de hormigón con la lámina de polietileno hasta los siete días necesarios para realizar un curado apropiado.

El espesor de esta lámina fue de 0,12 mm., transparente y de dimensiones suficientes para poder cubrir la probeta completamente. Ésta lámina fue sujeta con arena por todos los bordes de la probeta, como se ve en la figura siguiente.



Curado con polietileno.

FOTO N° 1

3.3.2 Curado con una capa de arena húmeda.

Aquí, el proceso de curado se efectuó de forma similar al curado anterior, con una lámina de polietileno, pero ésta se retiró una vez fraguado el hormigón, luego de cuatro horas mas o menos, más tarde se procedió a cubrir la superficie con una capa de arena, la cual siempre se mantuvo húmeda.

Este proceso consistió en cubrir la superficie expuesta a la intemperie del hormigón, con una capa de arena húmeda, colocada después que la superficie del hormigón adquirió una cierta resistencia superficial o también llamado fraguado. Al igual que el curado anterior, la capa de arena se mantuvo durante siete días. El espesor de la capa estuvo cercano a los 3 cm.

La arena fue la misma que se utilizó para fabricar la mezcla del hormigón. Durante el día, cuando el sol llegaba directo a las probetas, se le regó agua para evitar que se seque la arena y mantenerla siempre húmeda.



Curado con arena.

FOTO N° 2

3.3.3 Curado con una capa de aserrín húmeda.

Similar al proceso de la capa de arena se realizó el curado con una capa de aserrín. Este material fue obtenido de madera procesada en aserradero. La especie de la cual proviene el aserrín no tiene relevancia para los fines de este proceso de curado, pues no será una variable a considerar.



Curado con aserrín.

FOTO N° 3

3.3.4 Patrón sin curar.

Como se puede apreciar en la fotografía N° 4, a ésta probeta no se le aplicó ningún tipo de curado ni se dejó fraguar con una lámina de polietileno como a todas las otras probetas, sólo se dejó secar y endurecer producto del fraguado propio de la mezcla junto al calor y viento existente en ese momento.



Probeta sin curado.

FOTO N° 4

CAPITULO IV.

PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Ensayo de resistencia a la compresión.

La definición de resistencia está asociada a una fracción defectuosa aceptable y no tiene sentido la una sin la otra. Dicha fracción es parte de la definición de calidad, es decir se fija a priori, antes de confeccionar algún volumen de hormigón; se está aceptando que en la masa haya una determinada fracción de hormigón no satisfactorio.

4.1.1 Hormigón H-25

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados, en cuanto a la resistencia a la compresión para hormigón H-25.

4.1.1.1 Hormigones H-25 a los 7 días. En la Figura N° 2, se puede visualizar que la probeta sin curar, obtuvo la más baja resistencia a la compresión de 97 Kgf/cm², muy por debajo de la curada con una capa de arena húmeda la cual obtuvo la más alta resistencia de 144 Kgf/cm², seguida por la curada con una lámina de polietileno con 128 Kgf/cm² de resistencia, por su parte el curado con una capa de aserrín húmedo alcanzó sólo 9 Kgf/cm² menos la curada con una lamina de polietileno.

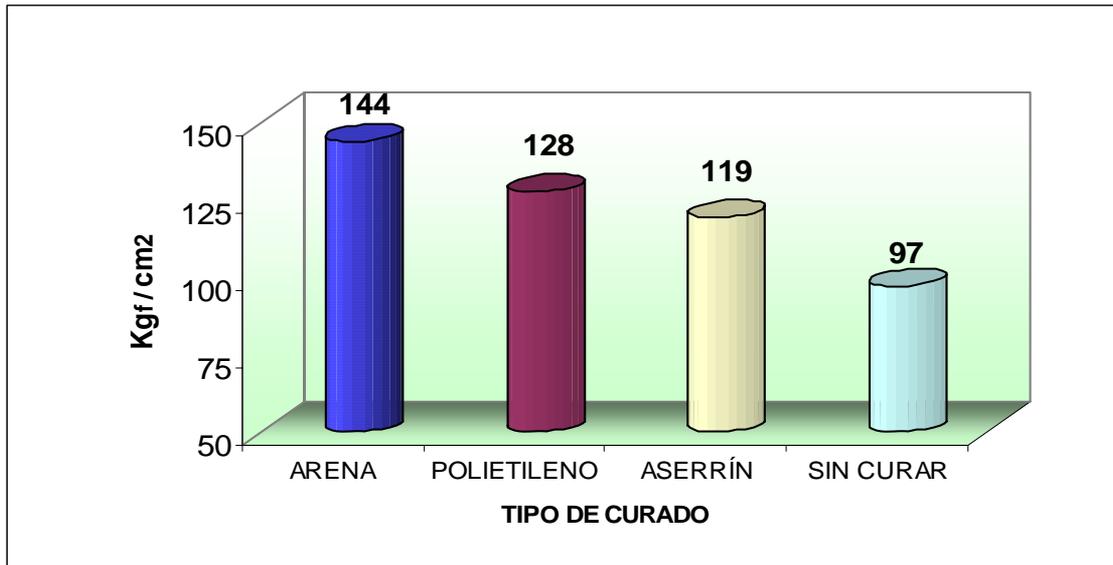


FIGURA N° 2 Resistencia a la compresión de hormigón H- 25, a los 7 días.

4.1.1.2 Hormigones H-25 a los 14 días. La resistencia a la compresión de los hormigones H-25, a los 14 días, se observa en la Figura N° 3, en él es evidente la gran diferencia de resistencia obtenida entre la probeta sin curar, cuyo resultado es el de menor resistencia (133 Kgf/cm²) y la probeta que recibió por curado una capa de arena húmeda, con una mayor resistencia (225 Kgf/cm²), cuya diferencia es nada menos de 92 Kgf/cm², mientras que las otras dos se mantienen en un tramo intermedio, de 191 Kgf/cm² para el curado con la lámina de polietileno y 176 Kgf/cm² para el tratamiento con aserrín húmedo.

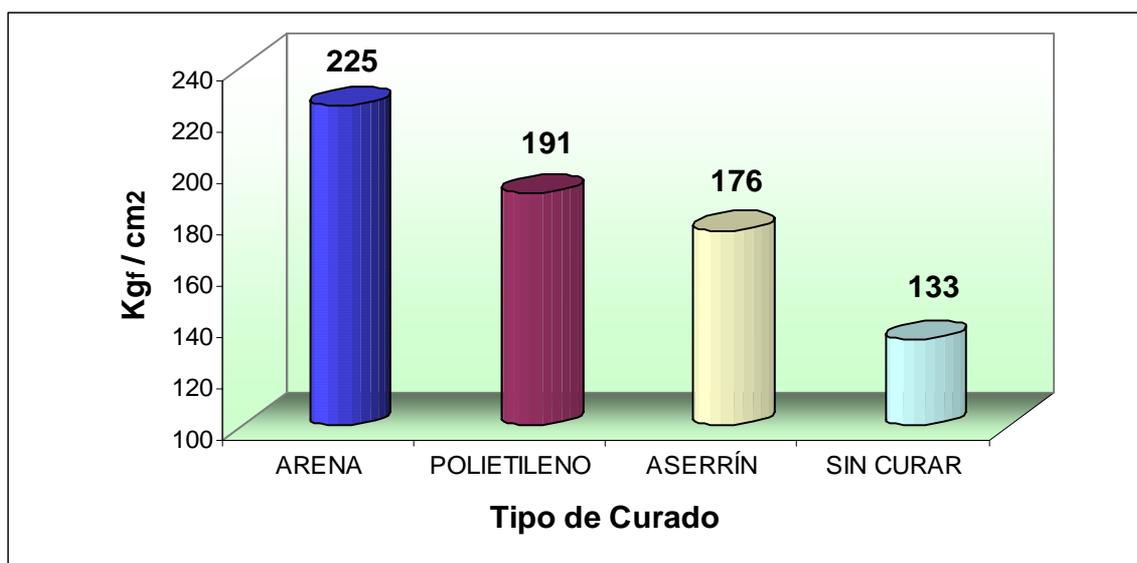


FIGURA N° 3 Resistencia a la compresión de hormigones H-25, a los 14 días.

4.1.1.3 Hormigón H-25 a los 28 días. A los 28 días se incrementa aún más la diferencia de resistencia entre la probeta sin curar (162 Kg/cm²) con la curada con una capa de arena húmeda (260 Kg/cm²), siendo de cerca de 100 Kg/cm² la diferencia entre ambas. Por su parte, la diferencia entre el curado con arena húmeda y la lámina polietileno (216 Kg/cm²) es de 54 Kg/cm², lo cual no deja de ser una diferencia importante (Figura N° 4).

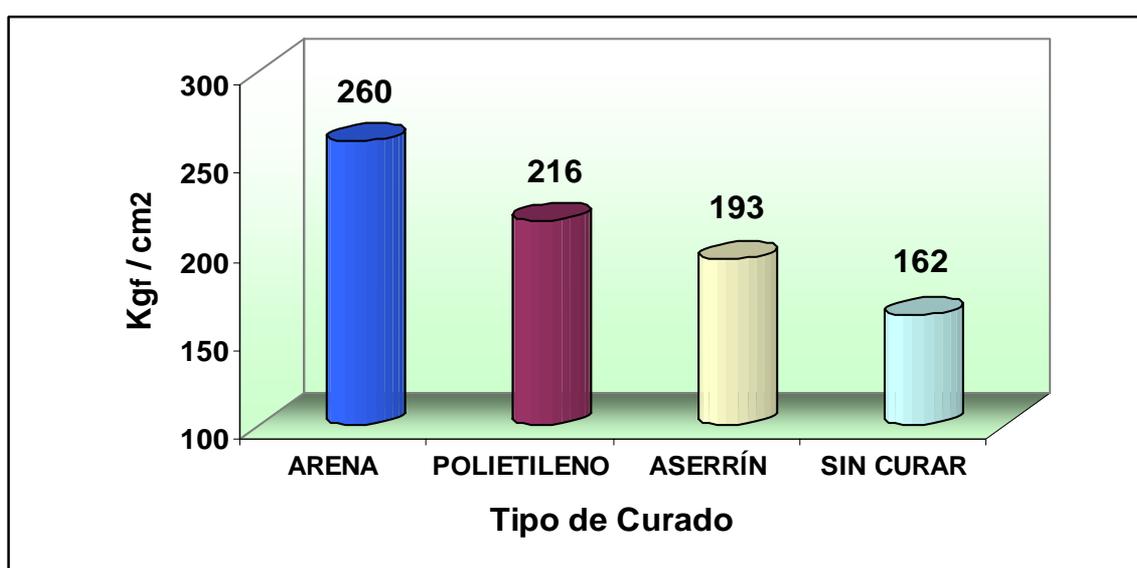


FIGURA N° 4 Resistencia a la compresión de hormigones H-25, a los 28 días.

4.1.1.4 Resumen de resistencia a Compresión de Hormigón H-25 a diferentes edades. El resumen de las resistencias a la compresión para el hormigón H-25 se observa en la Figura N° 5. Se advierte que las resistencias van aumentando independiente del tipo de curado, sin embargo, hay que destacar el curado con arena húmeda, que alcanza la mayor resistencia a la compresión entre los diferentes tipos de curado.

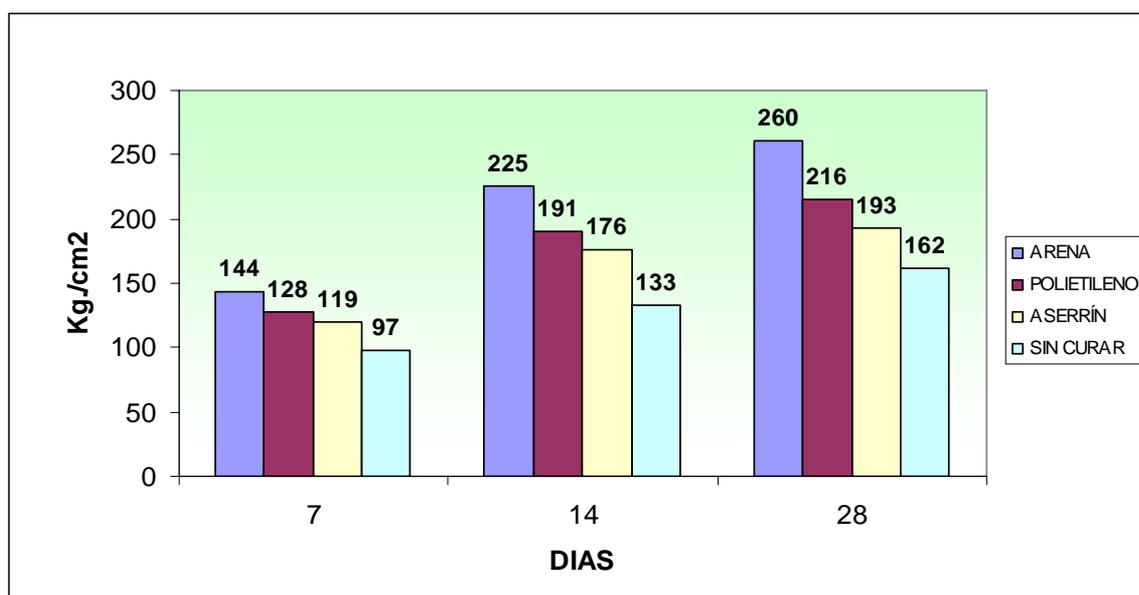


FIGURA N° 5 Resumen de resistencia a compresión de Hormigón H-25, a diferentes edades.

4.1.1.5 Superposición de resistencia a Compresión de Hormigón H-25 a diferentes edades. En la Figura N° 6, se observa que al curar el hormigón con arena húmeda se obtienen los mejores resultados de resistencia a la compresión, tanto a los 7, 14 y 28 días, ante un hormigón sin curar, y ante los otros tipos de curado de hormigón en estudio.

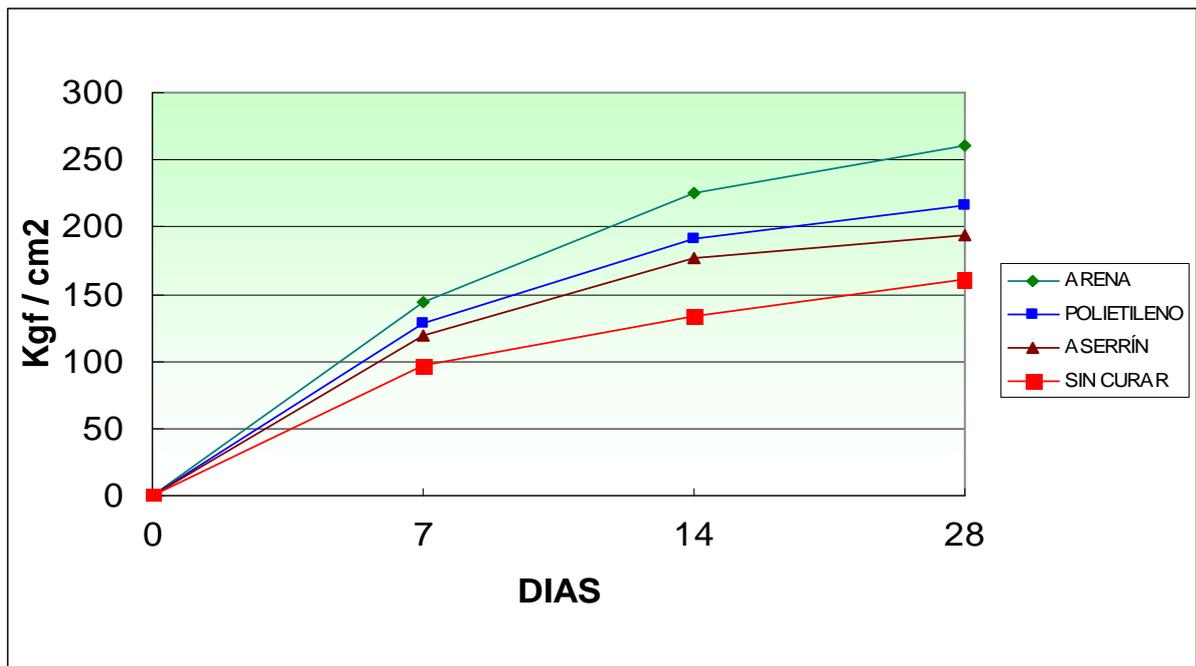


FIGURA N° 6 Superposición de resistencia a Compresión de Hormigón H-25, a diferentes edades.

4.1.1.6 Diferencia de las resistencia entre el patrón sin curar y los tipos de curado estudiados. A continuación se presentan los resultados obtenidos, comparando el patrón sin curar y los 3 tipos de curado en estudio, con respecto a sus resistencias adicionales adquiridas por el proceso de curado.

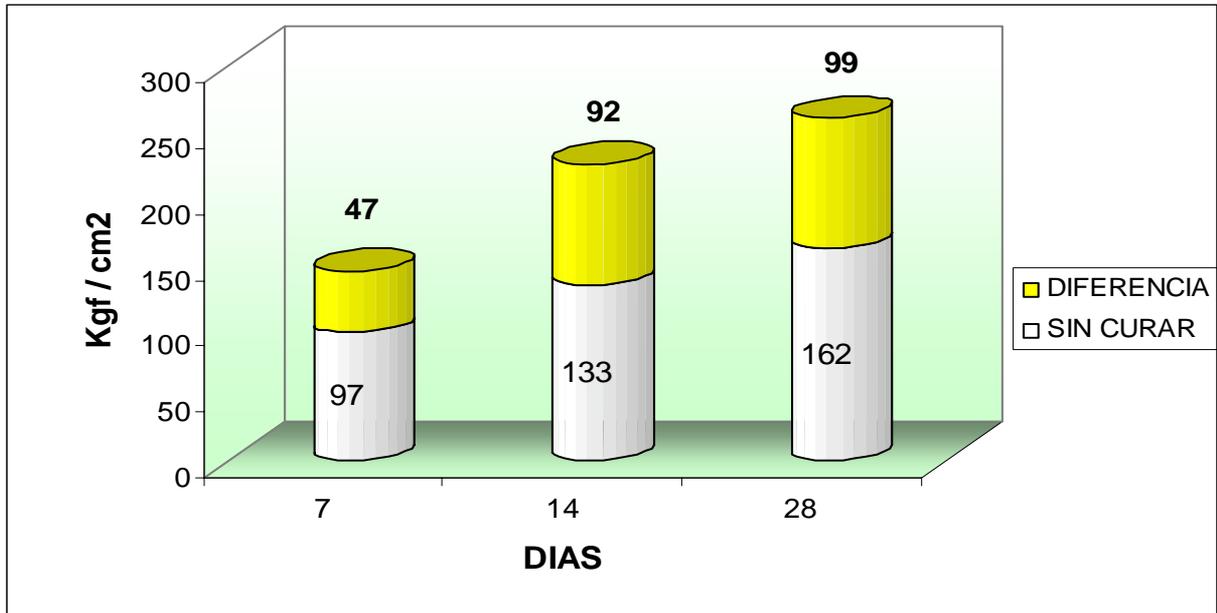


FIGURA N° 7 Diferencia entre las resistencia a la compresión, del hormigón H-25, entre el patrón sin curar y el curado con arena húmeda.

En la Figura N° 7, se observa que la resistencia adicional adquirida por el hormigón curado con arena húmeda a los 7, 14 y 28 días es de 47, 92 y 99 Kg/cm², respectivamente, si se compara con las probetas sin un tratamiento de curado.

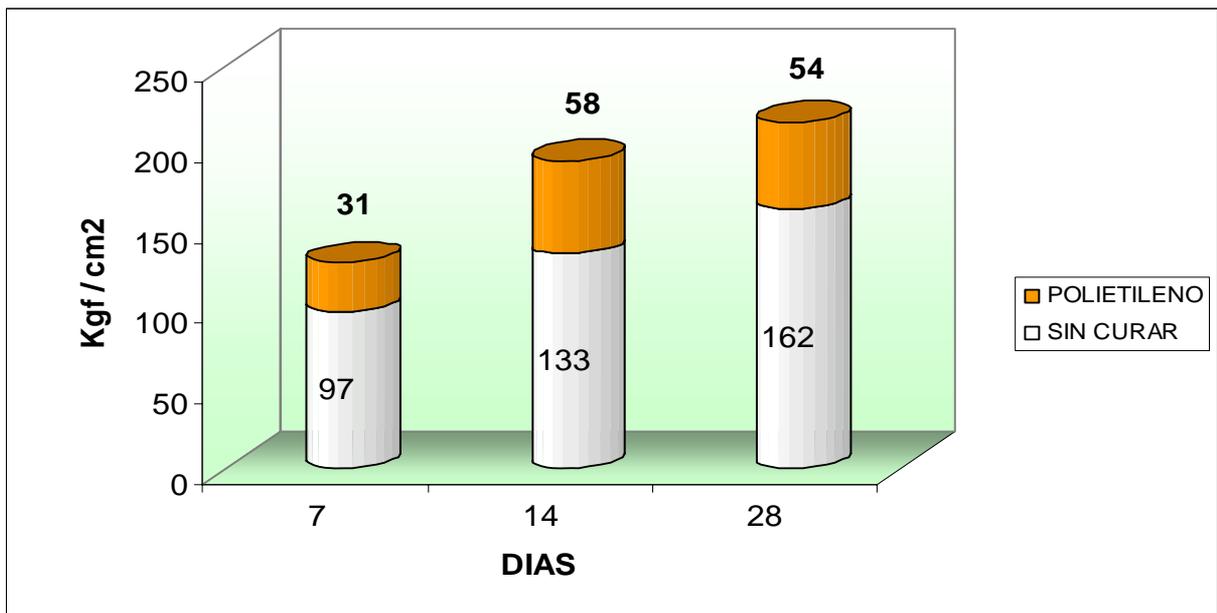


FIGURA N° 8 Diferencia entre las resistencia a la compresión, del hormigón H-25, entre el patrón sin curar y curado con lámina de polietileno.

En la Figura N° 8, se observa que la resistencia de un hormigón curado eficientemente con láminas de polietileno puede aumentar su resistencia en 31 Kgf/cm² a los 7 días de maduración, mientras que a los 14 días puede tener 58 Kgf/cm² adicionales, por su parte a los 28 días alcanza 54 Kgf/cm² más de resistencia a la compresión, por lo tanto, el curado con laminas de polietileno excede a la resistencia del hormigón sin curar.

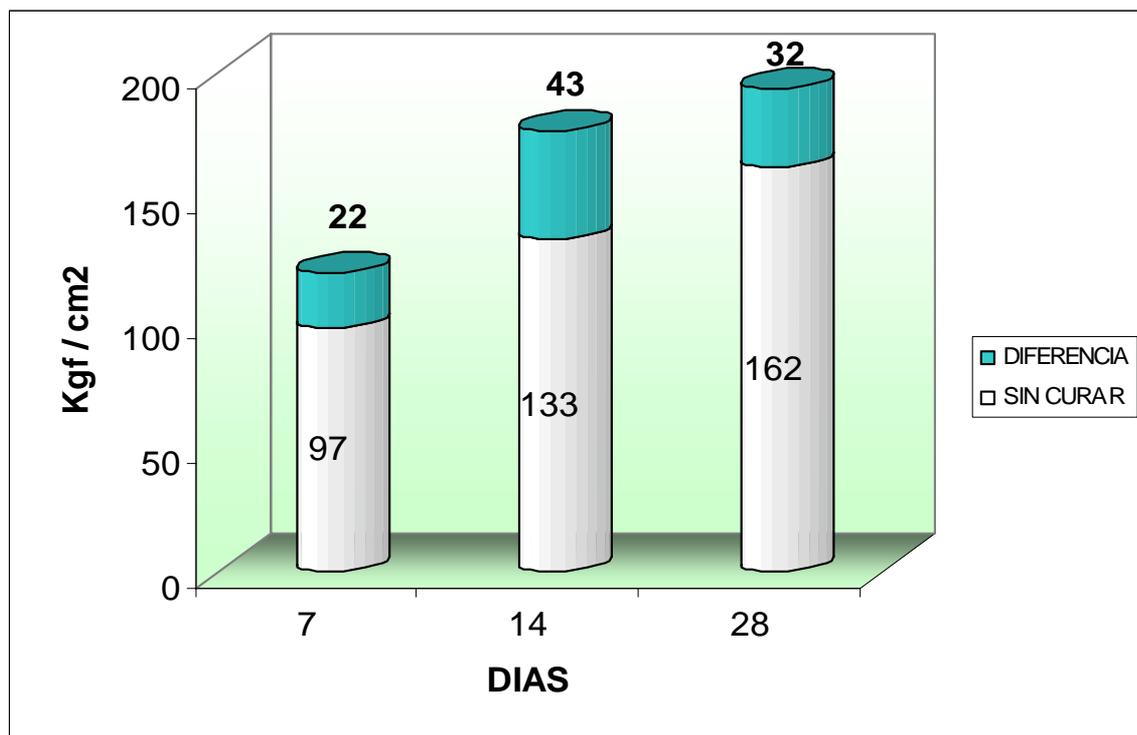


FIGURA N° 9 Diferencia entre las resistencia a la compresión, del hormigón H-25, entre el patrón sin curar y curado con aserrín húmedo.

La resistencia a la compresión adicional adquirida si se compara el curado con aserrín húmedo y el tratamiento sin curar a los 7, 14 y 28 días es de 22, 43 y 32 Kgf/cm², respectivamente, por lo tanto el hormigón curado con una capa de aserrín húmedo, excede a la resistencia del hormigón sin curar (Figura N° 9).

En la Tabla N° 16, muestra en resumen el porcentaje que excede la resistencia a compresión de hormigón sin curar y los diferentes tipos de curado en estudio, para posteriormente elaborar la Figura N° 9, más ejemplificador de los resultados obtenidos.

TIPO DE CURADO	% que excede a hormigón sin curar a los 7 días	% que excede a hormigón sin curar a los 14 días	% que excede a hormigón sin curar a los 28 días
ARENA	48	69	61
POLIETILENO	32	43	33
ASERRÍN	23	32	20

TABLA N° 16 Porcentaje que excede la resistencia a compresión de hormigón H-25, sin curar.

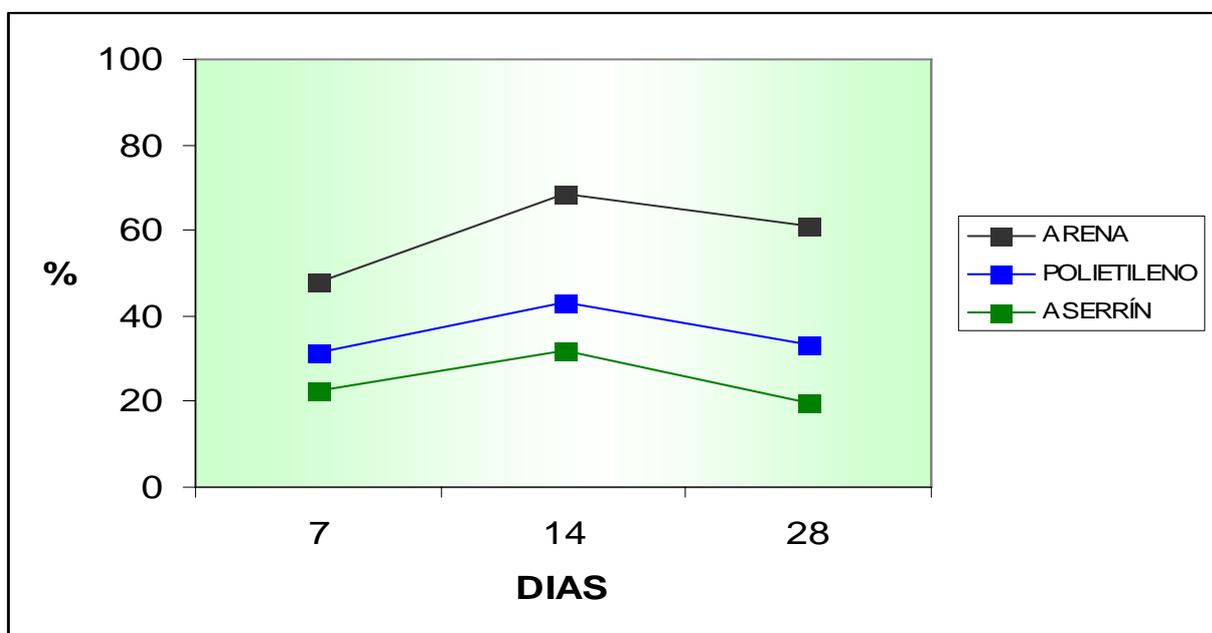


FIGURA N° 10 Porcentaje que excede a la resistencia a compresión de hormigón H-25, sin curar.

Según la Figura N° 10, el hormigón curado con arena húmeda, presenta una mayor variación con respecto al sin curar, especialmente a los 14 días.

4.1.2 Hormigón H-30.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados, en cuanto a la resistencia a la compresión para hormigón H-30.

4.1.2.1 Resistencia a la compresión para Hormigones H-30 a los 7 días. Según la Figura N° 11, la resistencia a la compresión para los hormigones H-30 a los 7 días de curado son 148, 136, 118 y 105 Kg/cm², para el curado con arena húmeda, lámina de polietileno, aserrín húmedo y el patrón sin curar, respectivamente. Destacando la mayor resistencia a la compresión obtenida por el curado con arena húmeda.

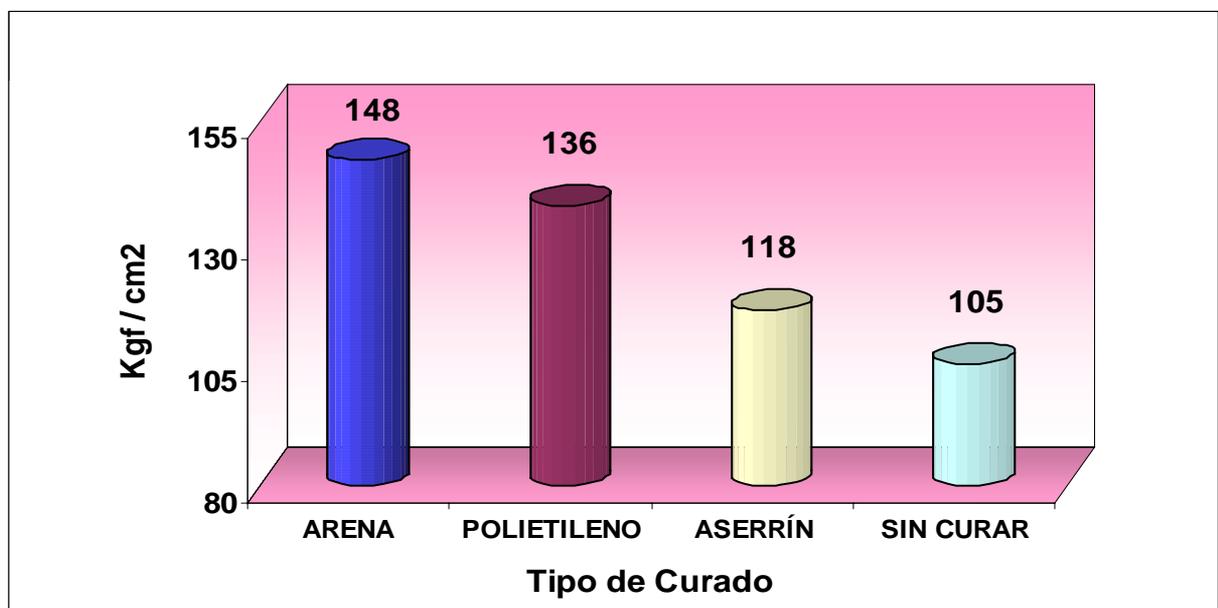


FIGURA N° 11 Resistencia a la compresión de hormigón H- 30 a los 7 días.

4.1.2.2 Resistencia a la compresión de hormigones H-30, a los 14 días. A los 14 días de curado el hormigón H-30, la mayor resistencia a la compresión obtenida, es la del curado con arena húmeda con 235 Kg/cm², y la menor corresponde al patrón sin curar con 187 Kg/cm². Por su parte los valores obtenidos para el curado con lámina de polietileno y aserrín húmedo son 212 y 202 Kg/cm², respectivamente (Figura N° 12).

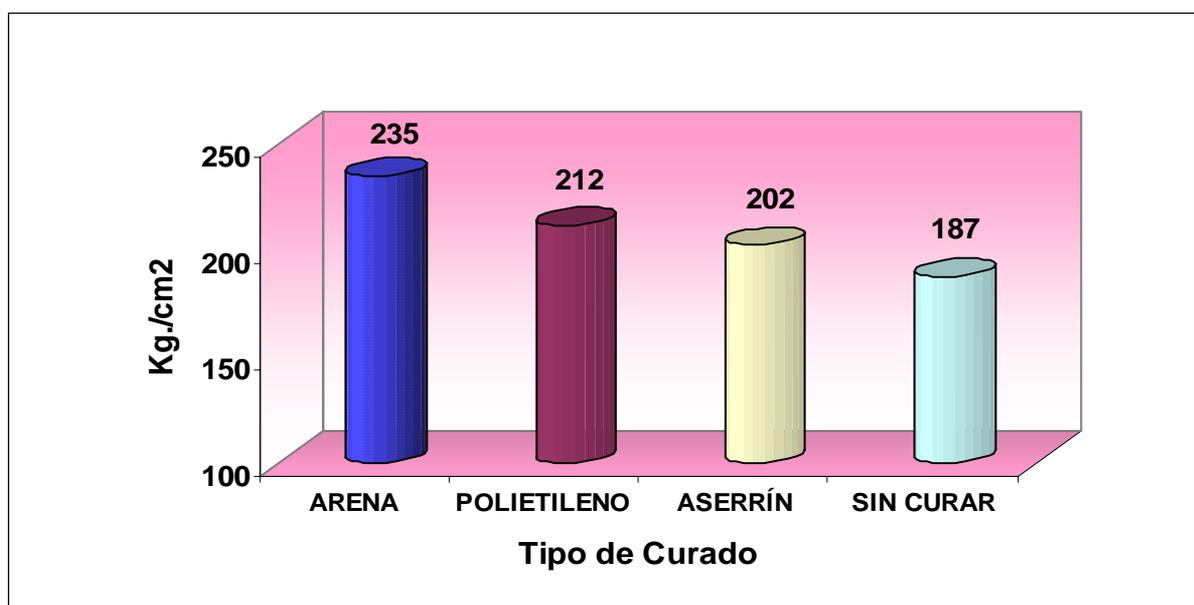


FIGURA N° 12 Resistencia a la compresión de hormigones H-30, a los 14 días.

4.1.2.3 Resistencia a la compresión de hormigones H-30, a los 28 días. Según la Figura N° 13, la resistencia a la compresión obtenida por el hormigón H-30 a los 28 días fue de 274, 264, 262 y 234 Kg/cm² para el curado con arena húmeda, lámina de polietileno, aserrín húmedo y el patrón sin curar, respectivamente, siendo la resistencia más alta obtenida la de arena húmeda.

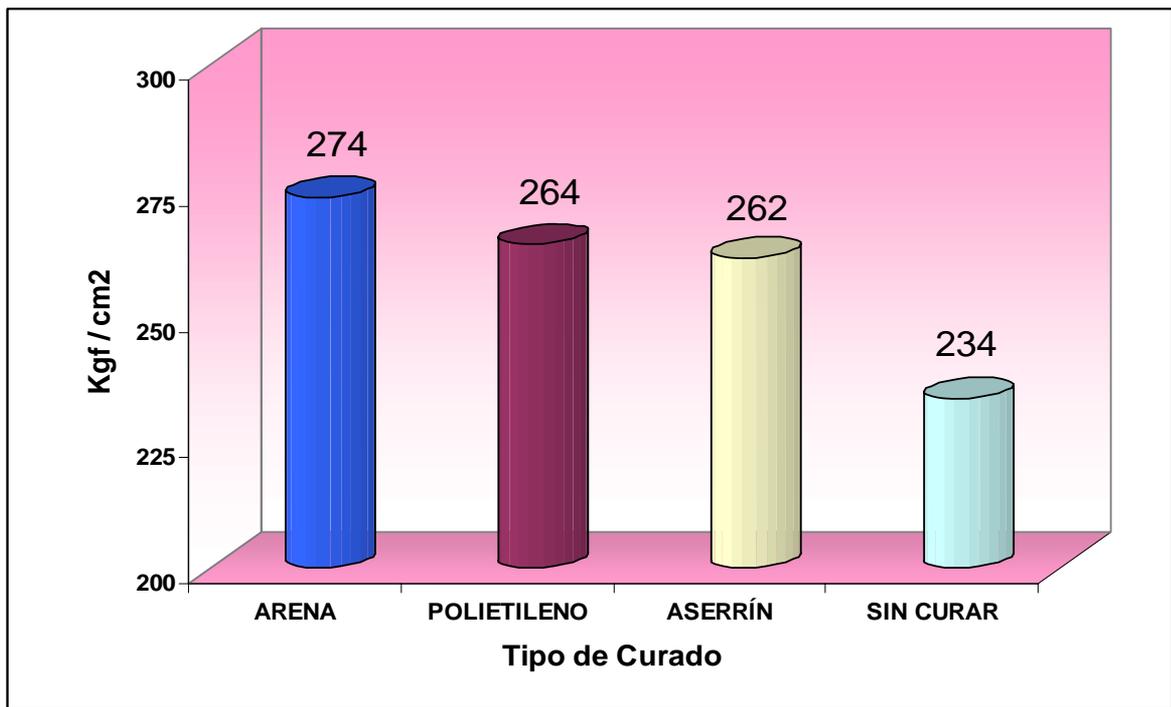


FIGURA N° 13 Resistencia a la compresión de hormigones H-30, a los 28 días.

4.1.2.4 Resumen de resistencia a Compresión de Hormigón H-30 a diferentes edades. En síntesis, la resistencia a la compresión de hormigones H-30 curado con arena húmeda, fue superior a los otros tipos de curado a los 7, 14 y 28 días de maduración, siendo los valores obtenidos 148, 235 y 274 Kgf/cm², respectivamente (Figura N° 14).

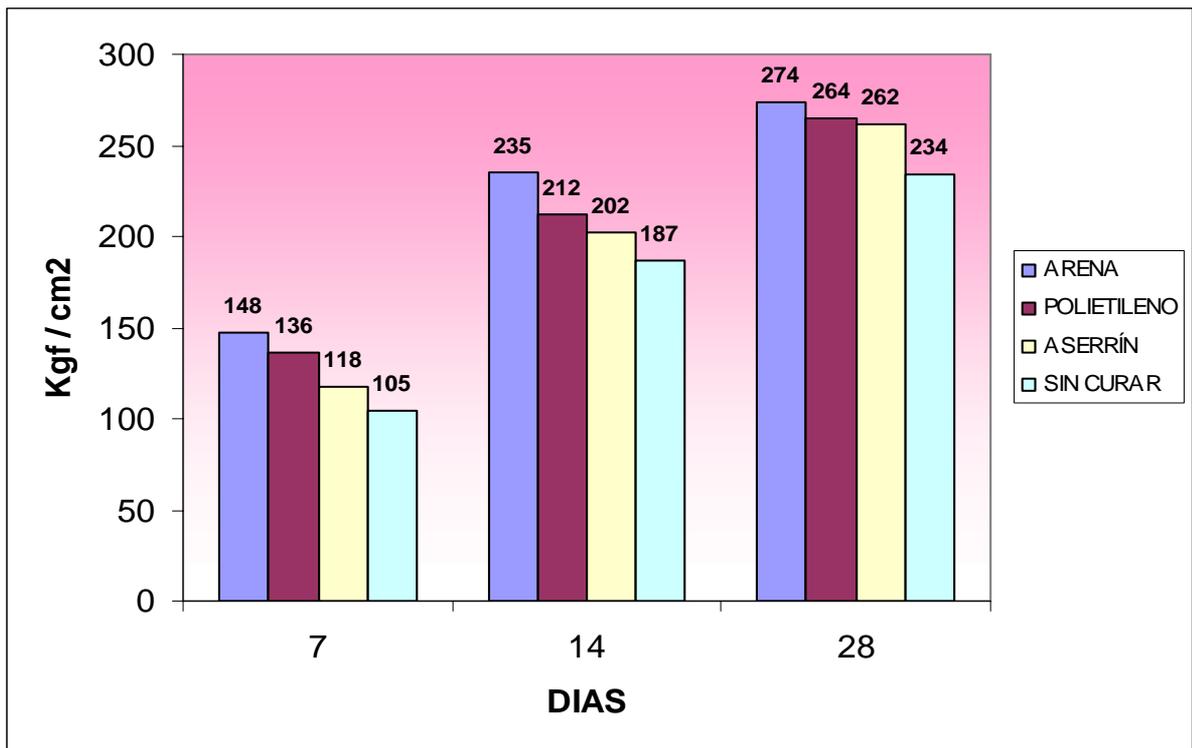


FIGURA N° 14 Resumen de resistencia a Compresión de Hormigón H-30, a diferentes edades.

4.1.2.5 Superposición de resistencia a Compresión de Hormigón H-30 a diferentes edades. La Figura N° 15, evidencia más claramente, la mayor resistencia a la compresión obtenida al curar el hormigón H-30 con una capa de arena húmeda, pues al medirla a los 7, 14 y 28 días, siempre fue superior que los otros tipos de curado y el patrón sin curar.

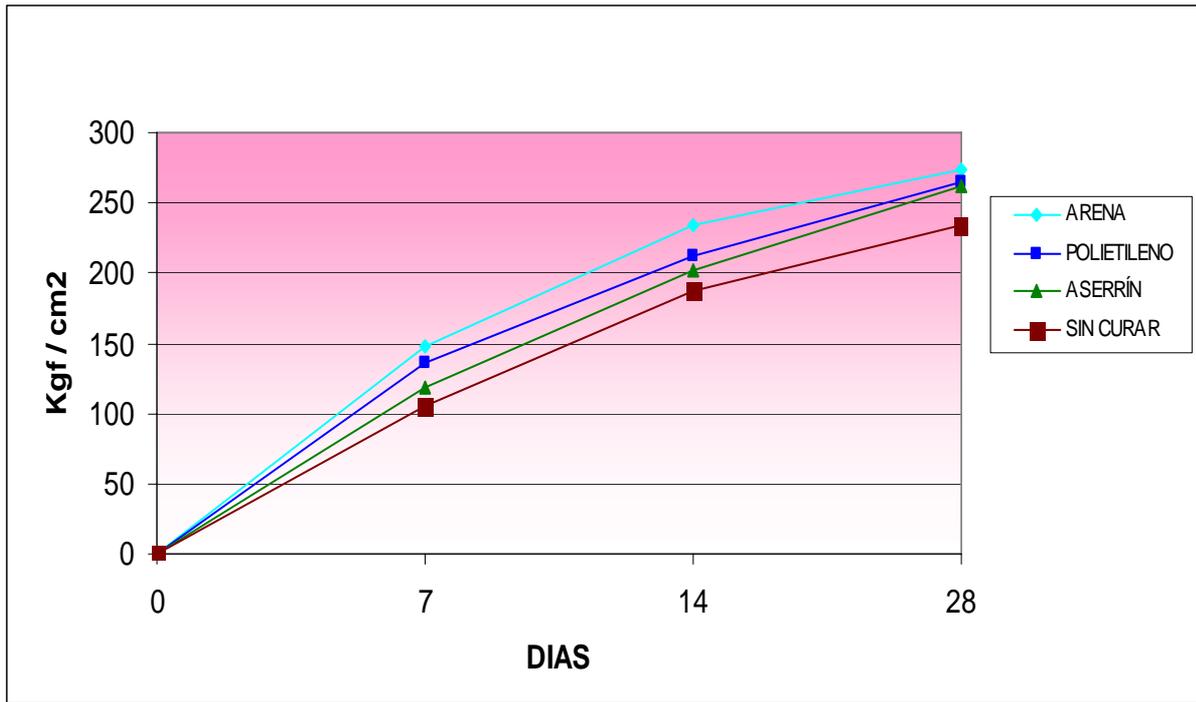


FIGURA N° 15 Superposición de resistencia a Compresión de Hormigón H-30 a diferentes edades.

4.1.2.6 Diferencia de las resistencia entre el patrón sin curar y los tipos de curado estudiados. A continuación se presentan los resultados obtenidos, comparando el patrón sin curar y los 3 tipos de curado en estudio, con respecto a sus resistencias adicionales adquiridas por el proceso de curado, para el hormigón H-30.

En la Figura N° 16, se observa que al curar el hormigón H-30 con una capa de arena húmeda, adquiere 42 Kgf/cm² adicionales a los 7 días de maduración, a los 14 días 39 Kgf/cm² y a los 28 días 40 Kgf/cm², ante un patrón si proceso de curado. Por lo tanto, el hormigón curado con una capa de arena húmeda, excede a la resistencia del hormigón sin curar.

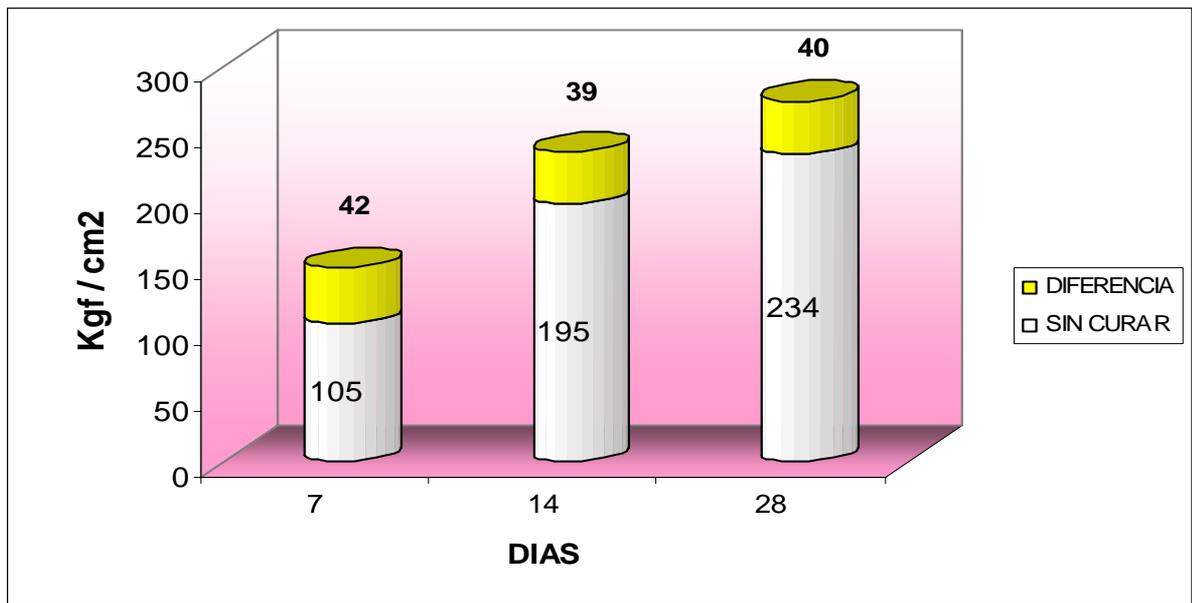


FIGURA N° 16 Diferencia entre las resistencia a la compresión del hormigón H-30, entre el patrón sin curar y el curado con arena húmeda.

Al comparar la resistencia a la compresión del hormigón H-30, entre un curado con una lámina de polietileno y patrón sin curar, se observa que hay una diferencia de 33 Kg/cm² superior para la lámina de polietileno a los 7 días de maduración, mientras que a los 14 y 28 días, la diferencia es de 31 Kg/cm² más, para ambas fechas (Figura N° 17).

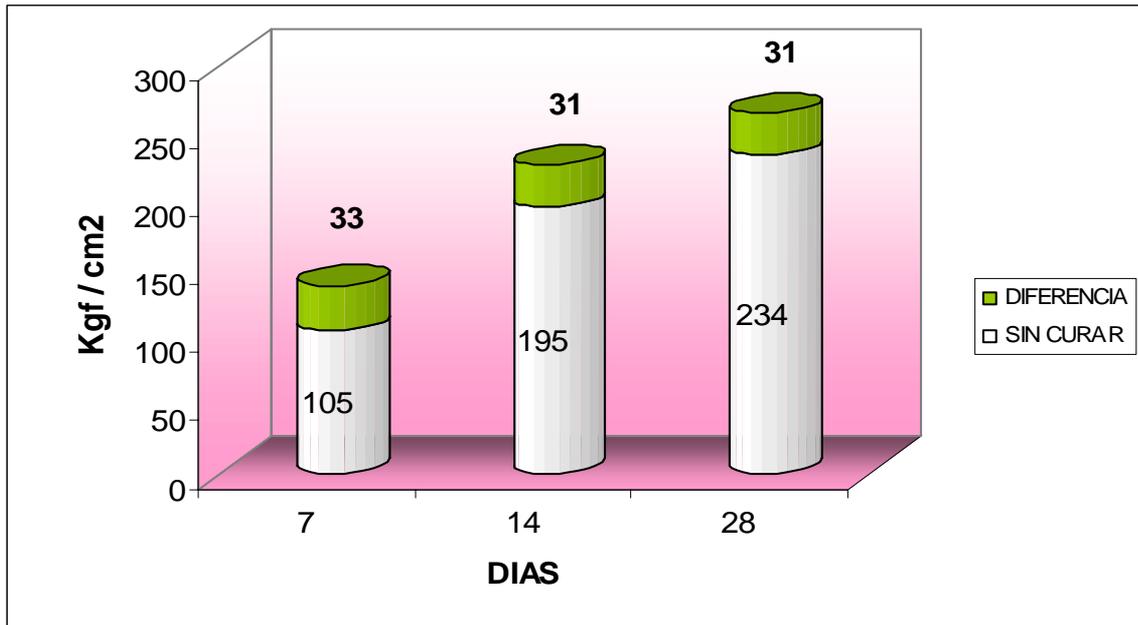


FIGURA N° 17 Diferencia entre las resistencias a la compresión del hormigón H-30, entre el patrón sin curar y el curado con lámina de polietileno.

En la Figura N° 18, se observa la diferencia de resistencia, para el hormigón H-30 curado con una capa de aserrín húmedo, el cual excede a la resistencia del hormigón sin curar en 11, 19 y 28 Kg/cm², a los 7, 14 y 28 días de maduración.

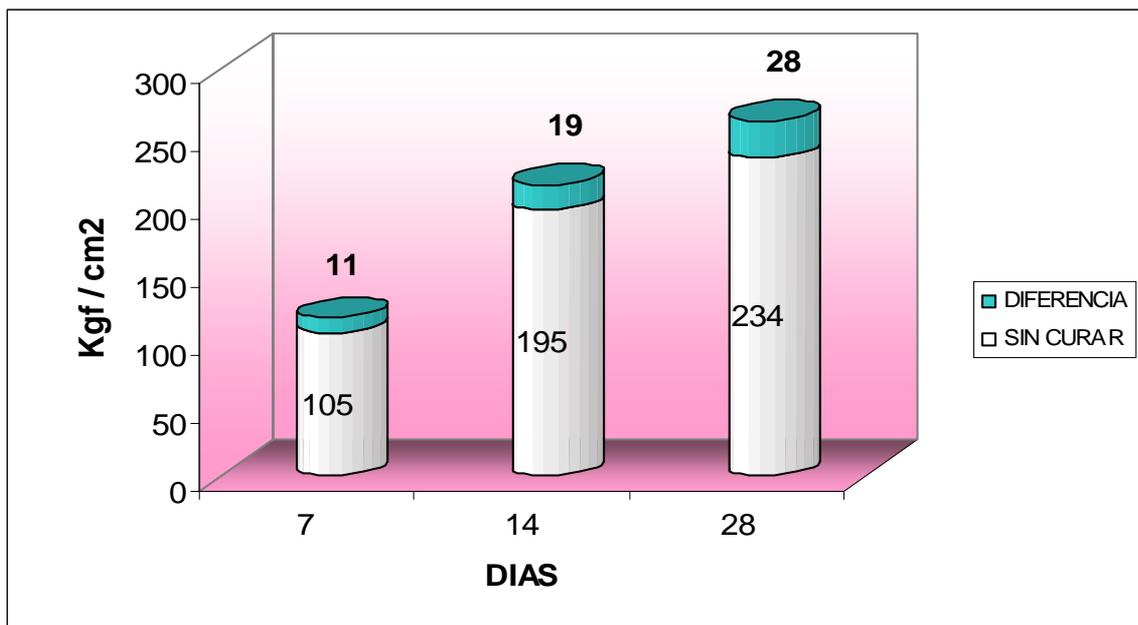


FIGURA N° 18 Diferencia entre las resistencias a la compresión del hormigón H-30, entre el patrón sin curar y curado con aserrín húmedo.

TIPO DE CURADO	% que excede a hormigón sin curar a los 7 días	% que excede a hormigón sin curar a los 14 días	% que excede a hormigón sin curar a los 28 días
ARENA	40	20	17
POLIETILENO	31	16	13
ASERRÍN	10	10	12

TABLA N° 17 Porcentaje que excede la resistencia a compresión de hormigón H-30, sin curar.

En la Tabla N° 17, se calculó el porcentaje que excede a la resistencia a compresión del hormigón sin curar, las cuales fueron calculadas en base a la resistencia del hormigón patrón sin curar.

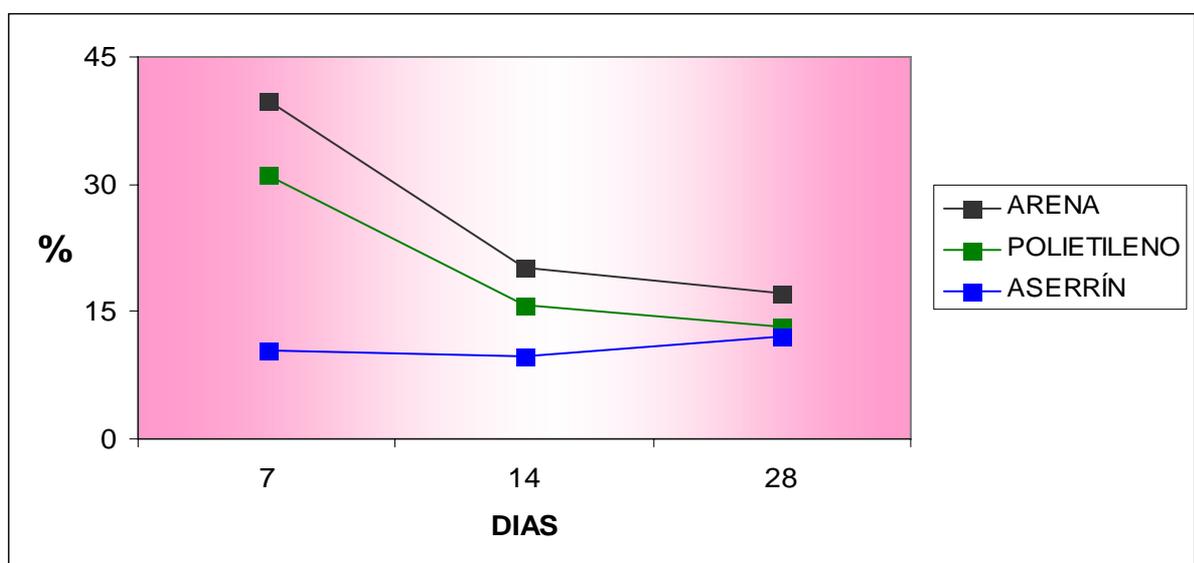


FIGURA N° 19 Porcentaje que excede la resistencia a compresión de hormigón H-30, sin curar.

La Figura N° 19, visualiza la variación de la resistencia a la compresión para el hormigón H-30, con respecto a al hormigón sin curar, se observa que la probeta curada con aserrín húmedo, el porcentaje que varía a diferentes edades se conserva;

por su parte, la probeta curada con arena húmeda, a los 7 días se presenta la mayor variación.

4.2 Ensayo de resistencia a la flexotracción.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados, en cuanto a la resistencia a la Flexotracción para hormigón H-30, a los 7, 14 y 28 días de curado.

4.2.1 Resistencia a Flexotracción de Hormigones H-30 a los 7 días. En la Figura N° 20, se puede visualizar que la probeta sin curar, obtuvo la más baja resistencia a la Flexotracción, 22 Kgf/cm², mientras que la curada con arena húmeda, obtuvo una resistencia de 27 Kgf/cm², seguida por la curada con una lámina de polietileno con 25 Kgf/cm² de resistencia, por su parte el curado con una capa de aserrín húmedo alcanzó 23 Kgf/cm².

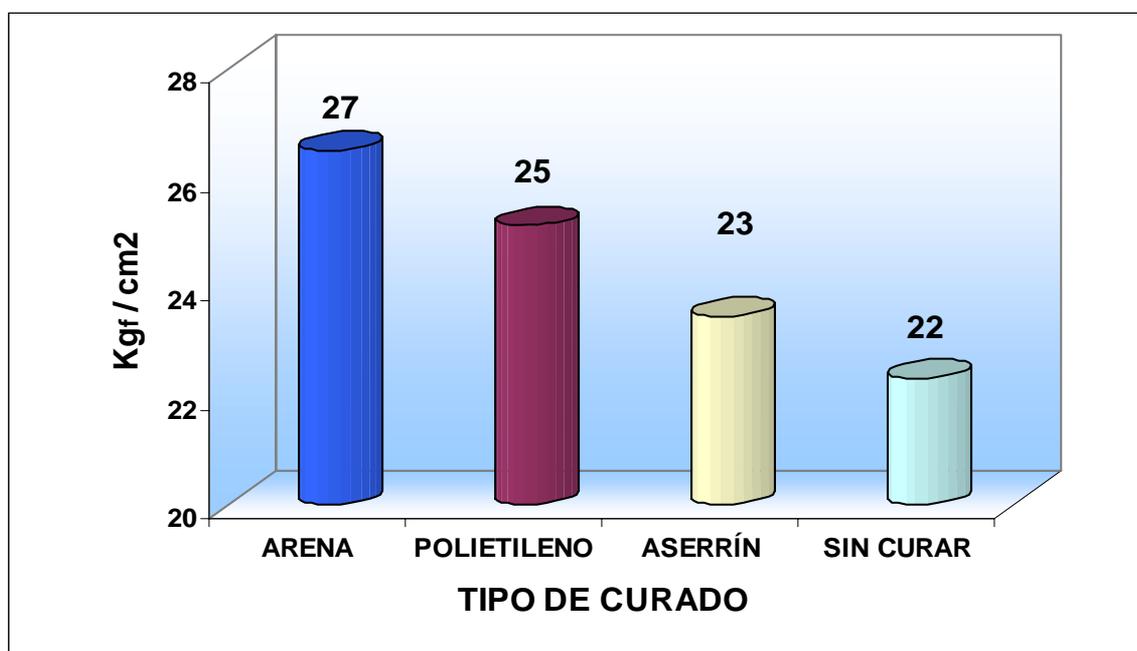


FIGURA N° 20 Resistencia a la flexotracción de Hormigones H-30, a los 7 días.

4.2.2 Resistencia a la Flexotracción de Hormigones H-30 a los 14 días. La resistencia a la Flexotracción de los hormigones H-30, a los 14 días, se observa en la Figura N° 21, en él es evidente la gran diferencia de resistencia obtenida entre la probeta sin curar, cuyo resultado es el de menor resistencia (27 Kgf/cm²) y la probeta que recibió por curado una capa de arena húmeda, con una mayor resistencia (36 Kgf/cm²), , mientras que la probeta curada con una lámina de polietileno obtuvo una resistencia a la flexotracción, de 31 Kgf/cm² y 28 Kgf/cm² para el tratamiento con aserrín húmedo.

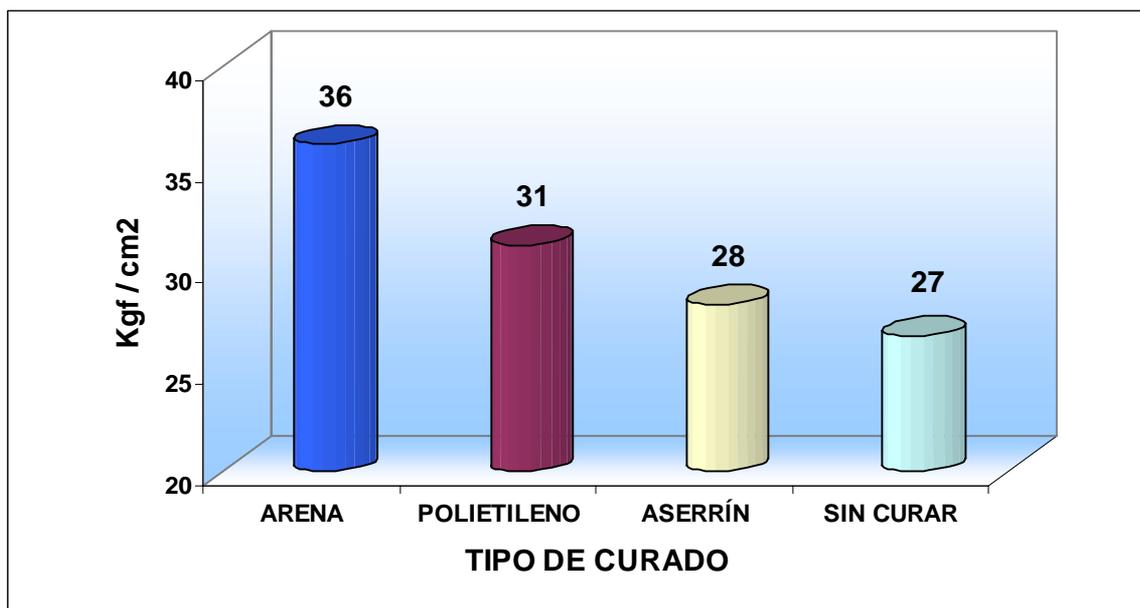


FIGURA N° 21 Resistencia a la flexotracción de Hormigones H-30, a los 14 días.

4.2.3 Resistencia a la Flexotracción de Hormigones H-30 a los 28 días. A los 28 días la diferencia de resistencia a la flexotracción entre la probeta sin curar (29 Kgf/cm²) ante una curada con una capa de arena húmeda (40 Kgf/cm²), es de 11 Kgf/cm². Por su parte, el resultado obtenido para el curado con lámina de polietileno fue de 34 Kgf/cm² y para el aserrín húmedo de 31 Kgf/cm² (Figura N° 22).

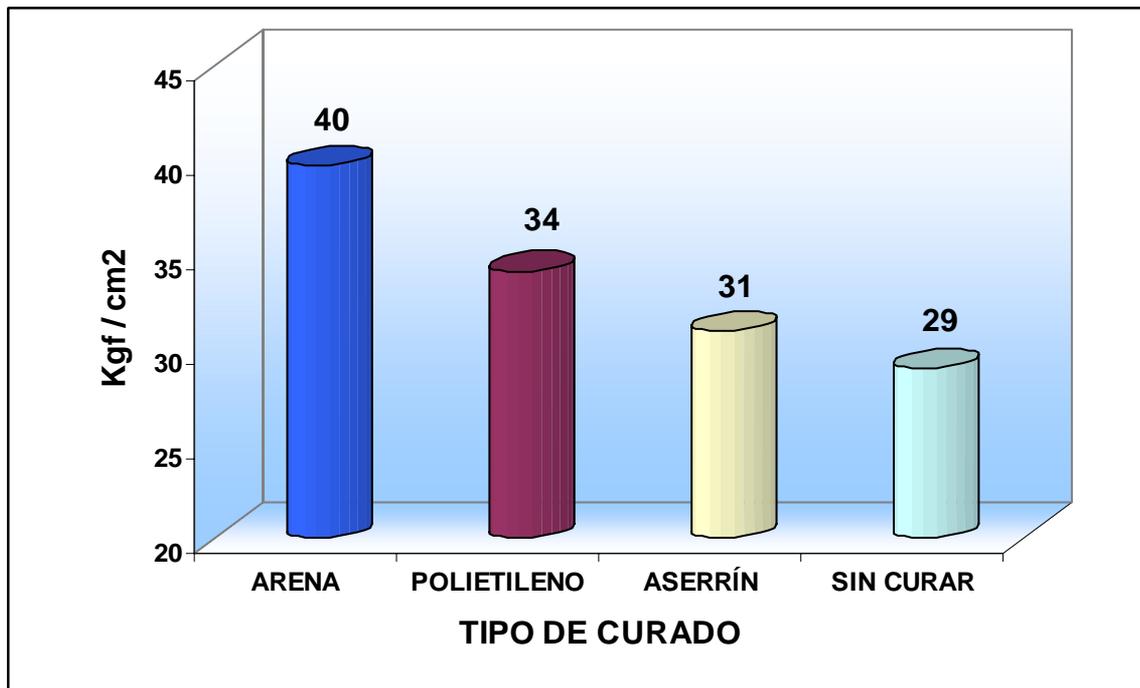


FIGURA N° 22 Resistencia a Flexotracción de Hormigones H-30, a los 28 días.

4.2.4 Resumen de resistencia a Flexotracción de Hormigón H-30 a diferentes edades. El resumen de las resistencias a la flexotracción para el hormigón H-30 se observa en la Figura N° 23. Se advierte que las resistencias van aumentando independiente del tipo de curado, sin embargo, hay que destacar el curado con arena húmeda, que alcanza la mayor resistencia a la compresión entre los diferentes tipos de curado, y a los 14 y 28 días de curado, los hormigones, adquieren más resistencia a la Flexotracción, al comparar a los 7 días de maduración.

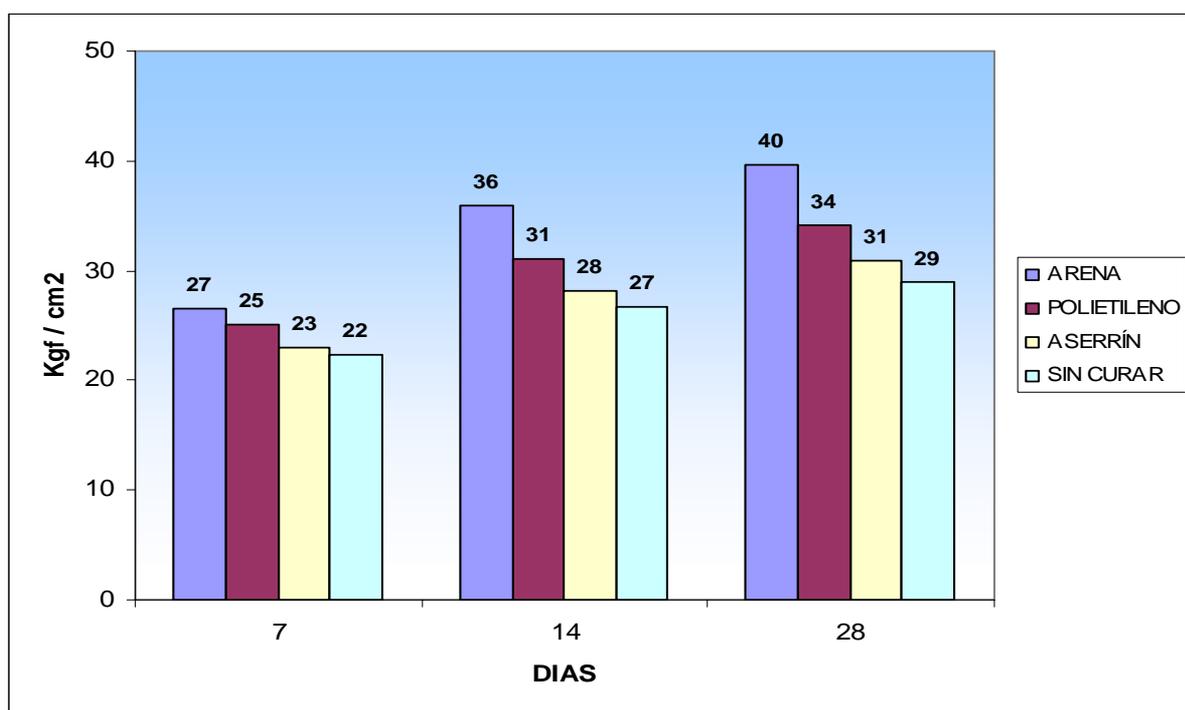


FIGURA N° 23 Resumen de resistencia a flexotracción de Hormigón H-30, a diferentes edades.

4.2.5 Superposición de resistencia a Flexotracción de Hormigón H-30 a diferentes edades. En la Figura N° 24, se observa que al curar el hormigón con arena húmeda se obtienen los mejores resultados de resistencia a la Flexotracción, tanto a los 7, 14 y 28 días, ante un hormigón sin curar, y ante los otros tipos de curado de hormigón en estudio.

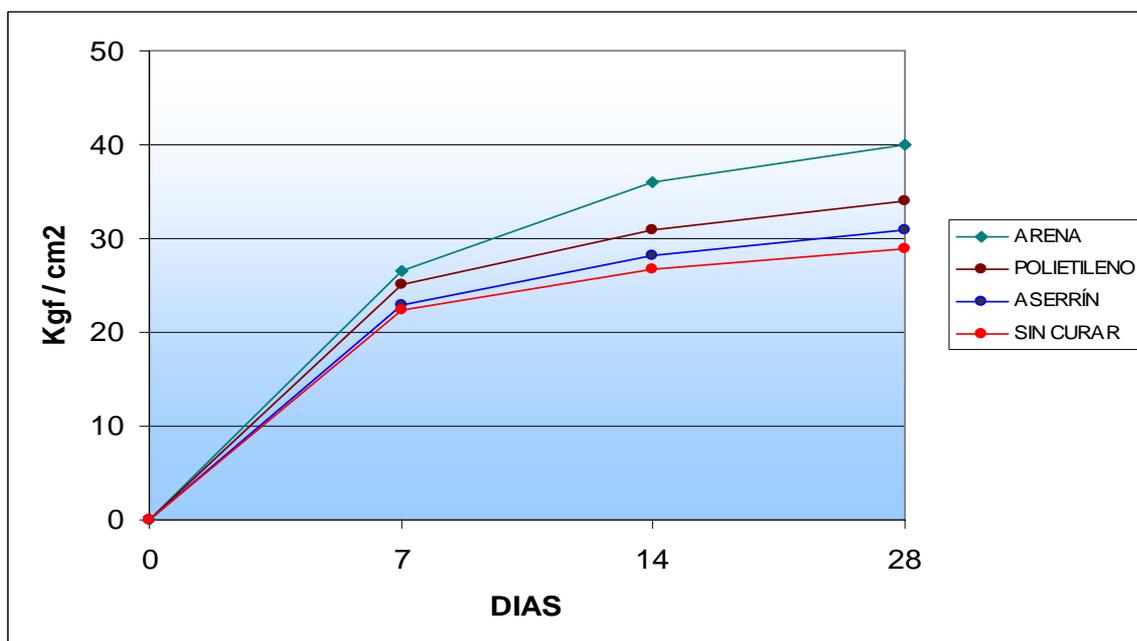


FIGURA N° 24 Superposición de resistencia a la flexotracción del hormigón H-30, a diferentes edades.

4.2.6 Diferencia de las resistencia a la Flexotracción entre el patrón sin curar y los tipos de curado estudiados. A continuación se presentan los resultados obtenidos, comparando el patrón sin curar y los 3 tipos de curado en estudio, con respecto a sus resistencias a la Flexotracción adicionales adquiridas por el proceso de curado.

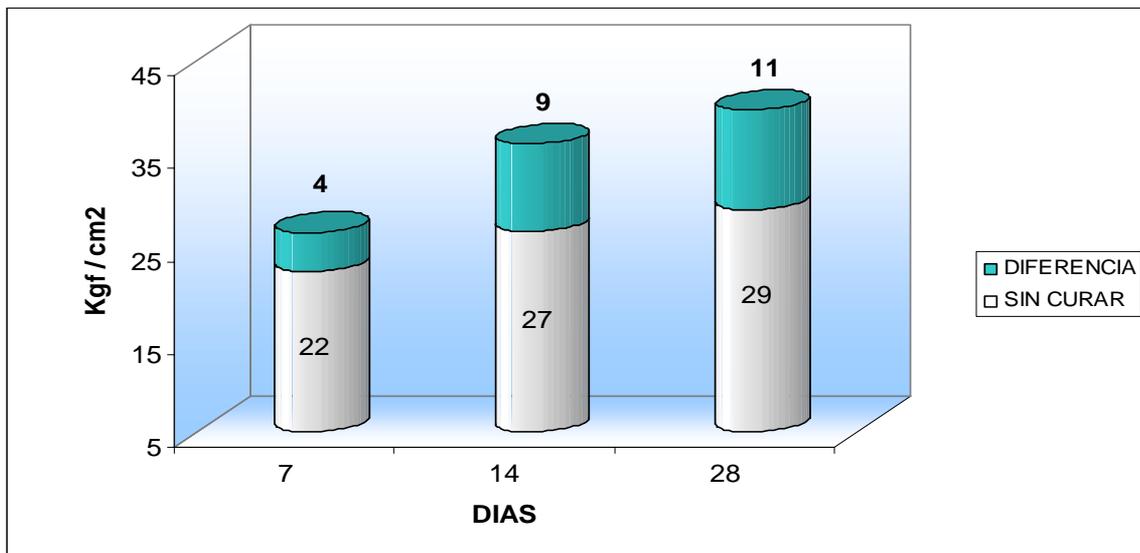


FIGURA N° 25 Diferencia de resistencia a flexotracción del hormigón H-30, curado con una capa de arena húmeda y el patrón sin curar.

En la Figura N° 25, se observa que la resistencia adicional adquirida por el hormigón curado con arena húmeda a los 7, 14 y 28 días es de 4, 9 y 11 Kg/cm², respectivamente, si se compara con las probetas sin un tratamiento de curado.

En la Figura N° 26, se advierte que la resistencia a la flexotracción de un hormigón curado eficientemente con láminas de polietileno puede aumentar su resistencia en 3 Kg/cm² a los 7 días de maduración, mientras que a los 14 días puede tener 4 Kg/cm² adicionales, por su parte a los 28 días alcanza 5 Kg/cm² más de resistencia, por lo tanto, el curado con láminas de polietileno excede a la resistencia a la flexotracción del hormigón sin curar.

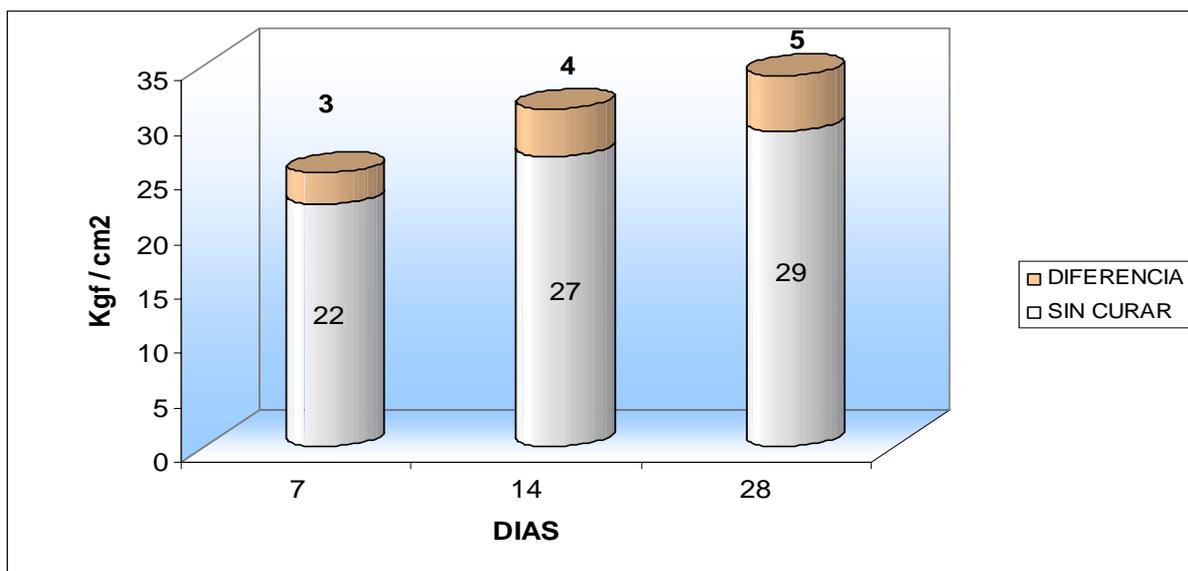


FIGURA N° 26 Diferencia de resistencia a Flexotracción, del hormigón H-30, curado con una lámina de polietileno y el patrón sin curar.

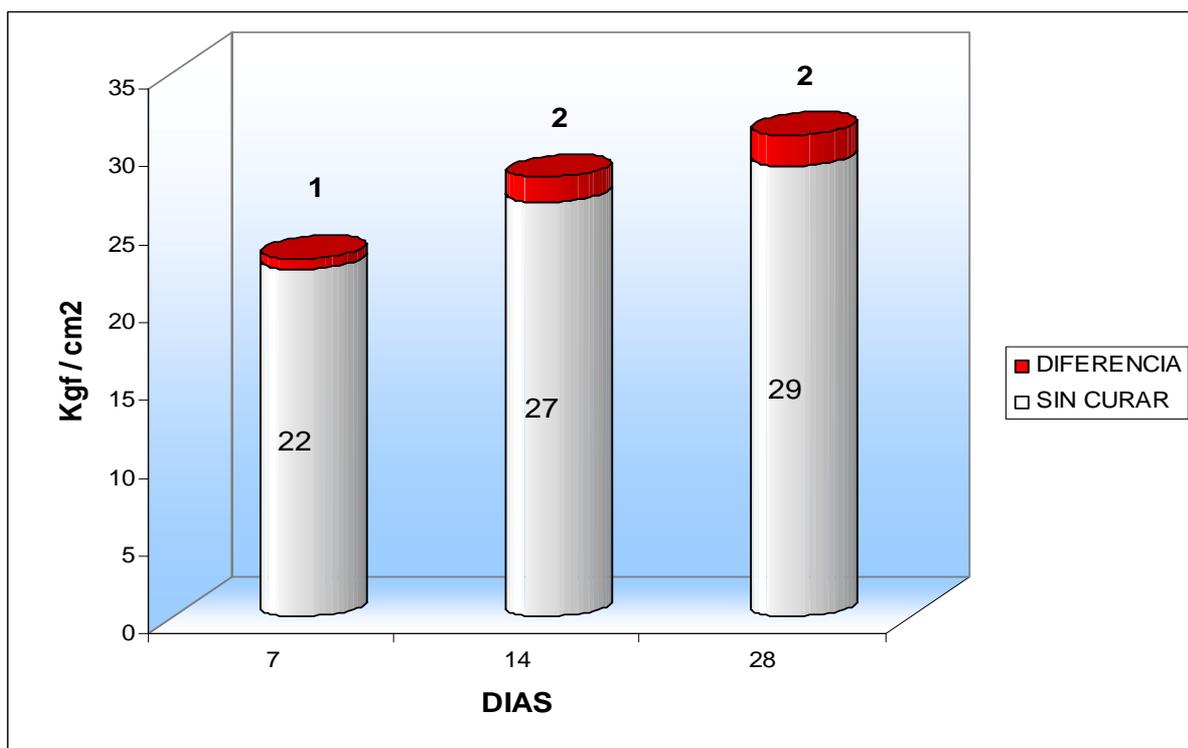


FIGURA N° 27 Diferencia de resistencia a flexotracción, del hormigón H-30, curado con una capa de aserrín húmedo y el patrón sin curar.

La resistencia a la flexotracción excedida si se compara el curado con aserrín húmedo y el tratamiento sin curar a los 7, 14 y 28 días es de 1, 2 y 2 Kgf/cm², respectivamente, (Figura N° 27).

En la Tabla N° 18, se calculó el porcentaje que excede a la resistencia a la flexotracción entre el hormigón sin curar y los 3 tipos de curado, se calculó en base a la resistencia del hormigón patrón sin curar.

TIPO DE CURADO	% que excede a hormigón sin curar a los 7 días	% que excede a hormigón sin curar a los 14 días	% que excede a hormigón sin curar a los 28 días
ARENA	19	35	37
POLIETILENO	13	16	18
ASERRÍN	3	6	7

TABLA N° 18 Porcentaje que excede la resistencia a flexotracción de hormigón H-30, al tratamiento sin curar.

La Figura N° 28, ejemplifica lo expuesto en la tabla anterior, evidenciando que el curado con arena húmeda presenta una mayor variación porcentual en cuanto a la resistencia a la flexotracción si se compara con el hormigón sin un tratamiento de curado, pues sus porcentajes son superiores en 19%, 35% y 37%, a los 7, 14 y 28 días de maduración, respectivamente, ante un 3% más de resistencia para el curado con aserrín húmedo, a los 7 días.

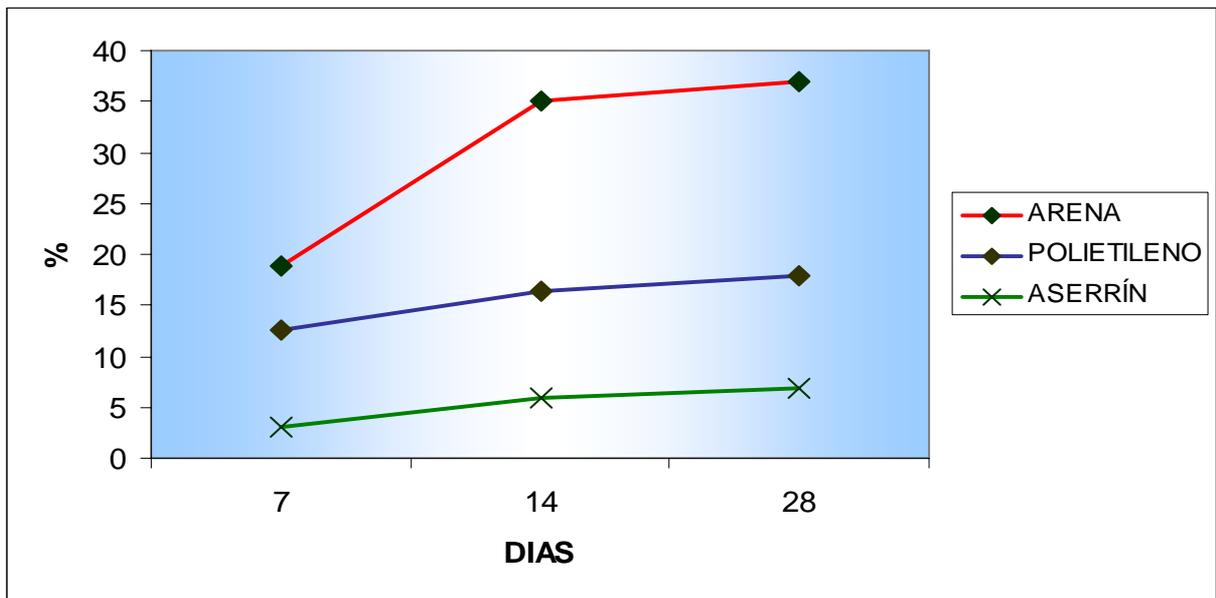


FIGURA N° 28 Porcentaje de variación de resistencia a la flexotracción con respecto al hormigón sin curar (hormigón H-30).

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES

Las resistencias a la compresión obtenidas en el laboratorio, para el hormigón H-25, curado con arena húmeda, fueron a los 7, 14 y 28 días, 144, 225 y 260 Kg/cm², respectivamente.

Por su parte, la resistencia a la compresión para el hormigón H-30, a los 7, 14 y 28 días de curado con una capa de arena húmeda, fueron de 148, 235 y 274 Kg/cm², respectivamente.

Los mejores resultados son los obtenidos cuando se ha curado el hormigón H-30, con una capa de arena húmeda, siendo los valores de la resistencia a la flexotracción a los 7, 14 y 28 días de 27, 36 y 40 Kg/cm², respectivamente.

Se pudo establecer que el hormigón H-25, curado con una capa de arena húmeda, tiene un mayor porcentaje de variación con respecto al patrón sin curar, obteniéndose un 48% más de resistencia a la compresión a los 7 días, 69% a los 14 días y un 61% a los 28 días. El tratamiento con una lámina de polietileno y aserrín, también tienen variaciones de resistencia con respecto al patrón sin curar, pero en menor medida si se comprara con el curado con arena húmeda.

Por su parte, el hormigón H-30, presenta una menor variación porcentual, que el hormigón H-25, al comparar la resistencia a la compresión entre el curado con una capa de arena húmeda y el patrón sin curar, a los 7 días de curado se obtuvo un 40%

más de resistencia que el patrón sin curar, a los 14 días 20% y a los 28 días un 17% más.

Con respecto, a la resistencia a la flexotracción, la mayor variación porcentual obtenida entre los diversos métodos de curado, comparada con la sin curar, fue emanada por la capa con arena húmeda, se obtuvo un 19% más de resistencia a la flexotracción a los 7 días, 35% a los 14 días y 37% a los 28 días. La menor variación porcentual con respecto al tratamiento sin curar, se obtuvo con la capa de aserrín húmeda siendo de 3% a los 7 días, 6% a los 14 días y 7% a los 28 días.

Por lo tanto, el tratamiento de curado más eficiente de los usados en este estudio, es el de la capa con arena húmeda, seguida por el curado con una lámina de polietileno y por último, el menos eficiente y acercándole bastante al hormigón patrón sin curar, es el curado con una capa de aserrín.

Hay que dejar en claro que, el curado con una capa de arena húmeda es el más eficiente en lo que al cuidado del desarrollo de resistencia mecánicas se refiere, pero también es el más costoso, puesto que la arena muchas veces se contamina por lo que no se reutilizaría para la fabricación de hormigón, se utiliza una cantidad considerable de agua para humedecerla, utiliza bastante mano de obra para la colocación y posterior retiro de la arena, y para mantenerla húmeda por lo menos durante 7 días; no así la lámina de polietileno, ya que éste puede ser reutilizada, es de fácil uso, no se ocupa agua, ocupa muy poca mano de obra.

Por lo que la elección del método a utilizar debiera ser considerando los costos y la importancia de la resistencia necesaria o requerida del hormigón.

CAPÍTULO VI.

BILIOGRAFÍA

- Nch. 170 Of. Hormigón – Requisitos generales.
- Nch 1018 Of. 1977. Preparación de mezclas de hormigón en laboratorio.
- Nch 71 E of.75 Establece los procedimientos para extraer muestras representativas del hormigón fresco que se destinan a ensayos.
- Nch 1019 Of. 1974. Determinación de la docilidad del hormigón mediante el cono de Abrams.
- Nch 1017 E Of. 75 establece los procedimientos para confeccionar y curar en obra las probetas de hormigón fresco que se destinan a ensayos.
- Ministerio de Obras publicas. *Especificaciones y métodos de ensayes dirección de vialidad*. Santiago de Chile Diciembre de 1986.
- Carlos, VIDELA. *Tecnología del hormigón*. Departamento de ingeniería y gestión de la construcción. Pontificia Universidad Católica de Chile. 2000.
- Programa especial ingeniero constructor. *Método y técnicas de investigación*. Universidad Austral de Chile.2000

- Legal C. R. C. 2005. Hormigonado en tiempo frío. Tesis Constructor Civil. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencia de la Ing.
- Rubilar A. P. A. 2004. Influencia de distintos tipos de áridos finos en las Propiedades mecánicas del hormigón. Tesis Ingeniero Constructor. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencia de la Ingeniería.