

1.1 ANTECEDENTES.

La resistencia a compresión del hormigón depende aproximadamente un 70% de la forma de preparación y los materiales que lo componen. El curado es una variable sumamente importante ya que aporta del el 30% de la resistencia a compresión del hormigón, este es un proceso realizable en los primeros 7 días de vida del hormigón según el Instituto Americano del Concreto ACI y la Norma Boliviana del Hormigón Armado.¹

Los métodos de curado a utilizar en obras pueden variar según el tipo de elemento estructural y no todos los métodos tienen la misma eficiencia en todos los elementos, siendo más dificultoso el curado de por ejemplo, las columnas respecto a las vigas o losas.

Es muy importante tomar en cuenta que mientras sea mayor el tamaño del elemento estructural, el curado se hace cada vez más imprescindible, ya que el daño que se podría recibir por secado prematuro (y por consiguiente mayor retracción hidráulica), podrían ocasionar un daño irreversible en el hormigón.

En nuestro medio para construcciones de pequeña o mediana envergadura, generalmente se utiliza el método del regado para el curado de losas, vigas y columnas.

En la construcción de carreteras de pavimento rígido, donde las losas son de gran tamaño, los métodos de curado son más sofisticados ya que se utilizan algunos aditivitos como el Antisol S o se recubre las losas con arena o tierra húmeda.

En Vigas, columnas y losas de construcciones mayores (como edificios, coliseos, centros de salud, etc) donde los elementos utilizan grandes volúmenes de hormigón y al mismo tiempo son de forma irregular, se utilizan materiales convencionales como yute humedecido, sábanas de algodón o plásticos para mantener húmedo el hormigón.

¹(NILSON Arthur, Diseño de Estructuras de Concreto)

1.2 EL PROBLEMA.

Las probetas del laboratorio que son curadas de manera ideal tienen mayor resistencia que las probetas curadas en obra, esto es inadecuado debido a que el método de sumersión no es algo aplicable en elementos estructurales de gran tamaño.

1.2.1 Planteamiento del Problema.

Los métodos de curado se pueden dividir en dos grandes grupos; los que conservan la humedad en el hormigón y los que necesitan de la adición de agua para la rehidratación del hormigón. Asimismo, estas dos formas de curado, tienen una gran variabilidad en cuanto a los métodos que se pueden emplear para este fin.

Ante la variabilidad de alternativas de curado que se pueden emplear para curar el hormigón, validando factores tan importantes como la aplicabilidad, el tiempo de empleo y la economía de los mismos, nos planteamos la siguiente interrogante con la finalidad de obtener un hormigón de mejor calidad:

¿Cuánto varía la resistencia a compresión del hormigón por la forma de curado?

1.2.2 Formulación del Problema.

Para dar solución al problema planteado, se debe estudiar exhaustivamente los agregados y la forma de curado en probetas de hormigón, utilizando así una misma dosificación y variando el procedimiento de curado.

1.2.3 Sistematización.

Curar las probetas por tres distintos métodos y comparándolas con la forma de curado ideal utilizada en laboratorio, para demostrar cuanto varia la resistencia según el tipo de curado.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General.

Determinar cuánto varía la resistencia a compresión del hormigón, aplicando cuatro métodos de curado en probetas con la misma dosificación y mismo tiempo de curado para determinar el método más efectivo y práctico.

1.3.2 Objetivos Específicos.

1. Caracterizar los materiales con los que se fabricara el hormigón, para que se obtenga una resistencia de 210 kg/cm^2 o 21 MPa .
2. Estudiar las características de la arena empleada en el curado para que el curado se desarrolle de manera óptima.
3. Curar probetas por los métodos en estudio.
4. Hacer el estudio comparativo con los resultados de las probetas rotas a los 14 y 28 días respectivamente.

1.4 JUSTIFICACIÓN

1.4.1 Practica.

Conseguir resultados aplicables en obras, que ayuden a mejorar la calidad del hormigón utilizando el método de curado más óptimo y práctico.

1.4.2 Técnica.

Demostrar cuánto aportan los distintos métodos de curado a la resistencia compresión del hormigón.

1.5 ALCANCES DEL ESTUDIO

1.5.1 Tipo de Estudio.

La investigación es de tipo experimental, basada en comprobar la hipótesis por resultados de ensayos realizados en laboratorio.

1.5.2 Hipótesis.

Mientras el método de curado mantenga mejor la humedad en el hormigón, (procurando uniformizar los factores externos en el que se realizaran los ensayos) el hormigón obtendrá mayor resistencia y disminuirá el riesgo de fisuración.

1.5.3 Restricciones y alcances.

Se realizaron 56 probetas con la misma dosificación, las cuales se distribuyeron de la siguiente forma; 14 probetas por cada tipo de curado (sumersión, arena húmeda, forrado con plástico y por riego), de las cuales 7 se rompieron a los 28 días y las 7 restantes se rompieron a los 14 días.

Todas las probetas se curaron 7 días como lo especifica la ACI y la CBH 87.

2.1.-INTRODUCCIÓN

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

Este proceso es fundamental y de mucha relevancia en el hormigón. 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 prácticos y sofisticados de curado como en obras mayores, los cuales deberían tener mayor atención en un proceso tan relevante.

Los métodos de curado se dividen en dos grupos: Métodos que proporcionan humedad 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, el desgaste y al ataque de químicos, lo que se sintetiza en pérdida de la resistencia mecánica.

2.2.-FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN

2.2.1Etapas en el Hormigón

2.2.1.1 Materiales que componen el hormigón. Los materiales para la fabricación del hormigón deben cumplir con las normas respectivas.

2.2.1.1.1 Cemento.²

Este componente es un polvo fino de color gris, que al ser mezclado con agua (denominado cemento hidráulico) forma una pasta aglomerante que se endurece.

² Jiménez Montoya, "Hormigón Armado" 14va Edición.

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 al Clinker. Este posteriormente será sometido a molienda.

Una vez que el Clinker se encuentra en este estado se le agrega yeso más o menos en un 5% del peso. Este proceso cumple la función de regular el proceso de fraguado del cemento, que en caso de no contenerlo endurecería de manera inmediata. Todo este procedimiento da lugar al cemento Portland. El endurecimiento del hormigón es el resultado de procesos químicos y físicos entre el cemento Portland y el agua, que se denominan hidratación.

El Clinker del cemento portland contiene 4 compuestos químicos mayoritarios, los minerales del Clinker³, que son:

- C_3S = Silicato tricálcico (alita)
- C_2S = Silicato dicálcico (belita)
- C_3A = Aluminato tricálcico
- C_4AF = ferrita aluminato tetracálcico
- Junto con otros componentes minoritarios como MgO , cal libre y sulfatos de alcalis
- Los minerales C_3O y C_2S constituyen entre el 75 y 80% del cemento.

2.2.1.1.2 Agua de amasado.⁴

La presencia del agua es imprescindible en la confección de hormigones, ya que es ella la encargada de provocar el proceso de hidratación del cemento y además otorgar la trabajabilidad al hormigón fresco. El agua debe cumplir con ciertos requisitos los que son regulados por norma; el uso de agua potable es esta permitido sin controlar su calidad.

Los cubos de mortero para ensayos, hechos con agua no potable, deben tener

³LUCO Luis Fernández, Importancia del Curado en la calidad del Hormigón de Recubrimiento

⁴Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural ACI 318S-05

resistencias a los 7 y 28 días, de por lo menos 90% de la resistencia de muestras similares hechas con agua potable. La comparación de los ensayos de resistencia debe hacerse en morteros idénticos, excepto por el agua de mezclado.

2.2.1.1.3 Agregados.⁵

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 – 75% del volumen total del hormigón distribuido en diferentes formas y tamaños.

Los áridos pueden clasificarse según su tamaño en mm:

ARENA	$A < 5$
GRAVILLA	$5 < g < 20$
GRAVA	$20 < G < 40$
GRAVA GRUESA	$GG < 40$

Tabla 2.2.1.1.3 Tamaños de los Áridos

Para su buena integración en el hormigón, el árido debe cumplir con todas las condiciones, las cuales pueden resumirse en:

- a) Docilidad.- Está relacionada directamente con:
 - La composición granulométrica que tengan los áridos
 - El contenido de granos finos
 - Forma de los granos
 - Porosidad
- b) Resistencia.- El árido debe ser capaz de resistir condiciones ambientales y las tensiones para las cuales será diseñado.

⁵MONTOYA JIMÉNEZ Pedro, GARCIA MESEGUER Alvaro, MORGAN CABRE Francisco, “Hormigón Armado”

- c) Estabilidad Físico Química.- El árido debe ser capaz de soportar las condiciones Físicoquímicas 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.

2.2.1.2 Mezclado del hormigón⁶

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

El tiempo de mezclado, contando desde el momento en que todos los materiales están en el interior de la hormigonera hasta el instante que se inicia la descarga, debe ser superior a 1 ½ minutos.

El orden para cargar la mezcladora es el siguiente:

- ½ del agua de amasado
- ½ del agregado grueso
- ½ arena
- ½ del cemento
- Homogeneizar la mezcla 30 segundos
- Colocar el material restante en el mismo orden
- Homogeneizar la pasta 2 minutos más.

2.2.1.3 Transporte.⁷ 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.

^{6,7}MONTOYA JIMÉNEZ Pedro, GARCIA MESEGUER Alvaro, MORGAN CABRE Francisco, “Hormigón Armado”

El transporte se debe efectuar con los equipos adecuados y mediante procedimientos necesarios para mantener la homogeneidad del hormigón que se obtuvo mezclado. En este sentido se deben pérdida de material, el plazo de transporte debe ser menor a 30 minutos

2.2.1.4 Colocado.

Son todas las operaciones necesarias para colocar el hormigón de acuerdo con el plano y/o especificaciones. Comprenden los trabajos que se realizan antes de la colocación del hormigón. La colocación del hormigonado incluye la definición de las etapas de colocación y los recursos

Las etapas quedan definidas por ⁸:

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

a) Colocación del hormigón.- Comprenden 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 10cm
- **Altura máxima de vaciado:** Debe ser la menor posible. Para elementos verticales (muros, pilares y otros) no deben exceder los valores que recomienda la norma.
- **Temperatura de colocación:** La norma recomienda temperaturas medias, de entre 10 y 25 grados centígrados.

2.2.1.5 Compactación⁹

^{8 y 9} MONTOYA JIMÉNEZ Pedro, GARCIA MESEGUER Alvaro, MORGAN CABRE Francisco, “Hormigón Armado”

1) Objetivos de la compactación.

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

- La resistencia mecánica
- Rellenar completamente los moldajes
- Textura superficial requerida
- Durabilidad

2) Métodos de compactación.- Hay dos tipos de métodos de compactación, los manuales y los mecánicos

- **Métodos manuales.-** No son recomendables y requieren de cuidadosa supervisión, son utilizados sobre todo en obras muy pequeñas.
- **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, existen distintos métodos vibratorios mecánicos; vibradores de moldaje, vibradores de superficie y vibradores internos.

2.2.1.6 Encofrado.-

Este contenedor, denominado encofrado, posee como función primera dar al hormigón la forma proyectada, proveer su estabilidad como hormigón fresco, asegurar la protección y la correcta

colocación de las armaduras, pero también proteger al hormigón de golpes, de la influencia de las temperaturas externas y de la pérdida de agua, el ingrediente más fluido de los tres elementos que lo componen –cemento, áridos y agua- en el momento de su creación.¹⁰

Existen diferentes clasificaciones para agrupar los tipos de encofrado: según el número de usos que señal utilizado, por el método y tiempo necesario para conseguir la forma final del continente, según el tipo de hormigón que va a contener (visto o

¹⁰(ORTEGA GARCIA Juan, Concreto Armado II)

para recubrir) y por los materiales de construcción del encofrado.

Qué difiere de que un encofrado sea perdido o recuperable: si se quiere volver a utilizar hay que prever, además de la técnica a emplear para desencofrarlo, los trabajos de limpieza, almacenaje y mantenimiento posteriores, mientras que si el encofrado no lo recuperamos lo perderemos embebido en el hormigón fraguado; en un caso aumentamos la mano de obra y en el otro crece el coste de reposición.

Para encofrar superficies continuas de forma repetitiva o de gran altura es más fácil con la utilización de plataformas que permitan su movimiento y recolocación para su posterior uso. De las grandes piezas, en el mercado también se encuentran sistemas autoportantes, deslizantes y trepadores (estos encofrados con módulos autónomos de 1 a 3 metros, se deslizan verticalmente existiendo dos tipologías según se realice su ejecución).

2.2.2 Propiedades del Hormigón Fresco y Endurecido

2.2.2.1 Propiedades del Hormigón Fresco¹¹

1) Consistencia

Es la menor o mayor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse. Varía con multitud de factores: Cantidad de agua de amasado, tamaño máximo, granulometría y forma de los áridos, etc.

2) Docilidad o trabajabilidad.

La trabajabilidad es una propiedad de definición 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 del tipo y condiciones de obra, dado que una determinada mezcla puede ser trabajable para ciertas condiciones y otras no.

¹¹MONTOYA JIMÉNEZ Pedro, GARCIA MESEGUER Alvaro, MORGAN CABRE Francisco, “Hormigón Armado”

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.

La consistencia del hormigón fresco es una medida de la 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 del cono moldeado con el hormigón fresco.

3) Homogeneidad

Es la cualidad por la cual los diferentes componentes del hormigón aparecen regularmente distribuidos en toda la masa, de manera tal que dos muestras tomadas de distintos lugares de la misma resulten prácticamente iguales. La homogeneidad se consigue con un buen amasado y para mantener, requiere un transporte cuidadoso y una colocación adecuada.

4) Masa específica.

Un dato de gran interés como índice de uniformidad del hormigón en el transcurso de una obra, es la densidad del hormigón fresco, ya sea compactado y sin compactar.

2.2.2.2 Propiedades del Hormigón Endurecido¹²

1) Densidad

La densidad de la masa específica del hormigón endurecido depende de muchos factores, principalmente de la naturaleza de los áridos, de su granulometría y del método de compactación empleado. Será tanto mayor cuanto lo sea el de los áridos utilizados y mayor cantidad de agregado grueso contenga.

2) Compacidad

La compacidad íntimamente ligada a la densidad, depende de los mismos factores que esta, sobre todo del método de consolidación empleado. Estos métodos

¹²MONTOYA JIMÉNEZ Pedro, GARCIA MESEGUER Alvaro, MORGAN CABRE Francisco, “Hormigón Armado”

consolidación tiene por objeto introducir, en el volumen determinado, la mayor cantidad posible de áridos y al mismo tiempo que los huecos dejados por estos se rellenen con la pasta de cemento, eliminando por completo las burbujas de aire.

3) Permeabilidad

Las formas en que el agua puede penetrar en el hormigón son por presión y por capilaridad. El factor más influyente es sin duda la relación agua cemento. Al disminuir esta disminuye la permeabilidad.

2.2.3 Procesos Físicos y Químicos que Experimenta el Hormigón en su Fabricación y Estado Fresco.

2.2.3.1 Procesos Físicos.

Tiene directa relación con los cambios que pueden ser reversibles, como la exudación del agua de amasado y el fraguado¹³

2.2.3.1.1 Exudación del agua de amasado. Se produce en la etapa plástica del hormigón desde el amasado al endurecimiento (en las primeras ocho horas).

La exudación es el fenómeno consistente en el ascenso del agua del hormigón hacia la superficie de este, a partir del momento de vertido y compactación. Es debido a una tendencia a la clasificación de los componentes por densidades, debida a la acción de la gravedad, es decir es en cierto modo un proceso de sedimentación de los componentes.¹³

La exudación es un fenómeno inherente del hormigón que no puede ser eliminado.

2.2.3.1.2 Variación de volumen.

¹²PORTLAND CEMENT ASSOCIATION

¹³GUILLERON M, REGUE C, SANCHEZ Sonzogni, “Análisis Numérico de las Tensiones Producidas por el Secado del Hormigón”

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 el 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.

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 perturbará principalmente a la superficie del hormigón, dado que ella es lo 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 el proceso de secado. Si este proceso de secado es muy rápido, como sucede cuando el hormigón está sometido a altas temperatura ambiente o a corrientes de viento, ello puede traducirse en grietas del hormigón aún plástico, las que por su origen se presentarán como una 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 periodos de alta temperatura o fuerte viento, utilizando pulverizadores que esparzan una neblina húmeda en el sitio hasta que sea posible iniciar el proceso de curado¹⁴

¹⁴ GUILLERON M, REGUE C, SANCHEZ Sonzogni, “Análisis Numérico de las Tensiones Producidas por el Secado del Hormigón”

2.2.3.2 Procesos Químicos.

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

2.2.3.2.1 Hidratación.

La hidratación, corresponde a una reacción química entre el cemento y agua aplicada a la mezcla. Entre la composición del cemento están los siguientes; silicato tricálcico; sin embargo, otros componentes que se encuentran en menor medida, juegan un importante papel durante el proceso de hidratación.

Entre menos porosa sea la pasta de cemento, mucho más resistente es el concreto, por lo tanto, cuando se mezcla 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.¹⁵

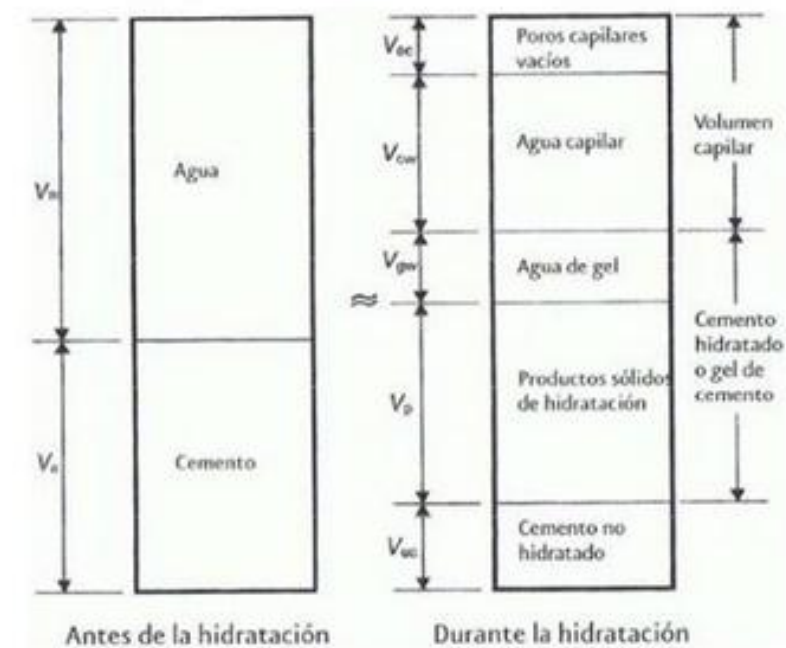


Figura 2.2.3.2.1.- Proceso de Hidratación en el Hormigón.

¹⁵PORTLAND CEMENT ASSOCIATION

2.2.3.2.2 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 Clinker y que en su primera etapa incluye la solución en agua de los compuestos anhídridos del cemento, formando compuestos hidratos.

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 el desarrollo se producen variaciones de volumen, de dilatación si el ambiente tiene 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 su especial velocidad de su generación.

2.3 EL CURADO

2.3.1 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 este desarrolle el potencial de sus propiedades, tales como:

- Alcanzar su máxima resistencia y durabilidad
- Impermeabilidad
- Disminuir el riesgo de figuración.

Una mezcla de hormigón tiene previamente fijada una proporción de agua y cemento. Éstos, al combinarse químicamente producen una reacción que no es instantánea, ya que los diferentes componentes del cemento reaccionan con el agua en diferentes tiempos, que van desde 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; este tiempo también depende del tipo de cemento que se utilice según especifica la ASTM.

“El curado tiene una influencia significativa sobre las propiedades del hormigón endurecido, tanto en el interior del hormigón como en su superficie, tales como la resistencia, permeabilidad, resistencia a la abrasión, estabilidad de volumen y resistencia al hielo-deshielo y sustancias anticongelantes. El desarrollo de resistencia superficial puede reducirse significativamente cuando el curado es defectuoso”¹⁶

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

- a) El contenido suficiente de humedad, para evitar retracción por secado y permitir una adecuada hidratación del cemento.
- b) Temperatura favorable (entre 10 y 25°C), de modo que la hidratación del cemento se desarrolle a una tasa adecuada.
- c) Prontitud, curar el hormigón lo antes posible, los primeros días son fundamentales.

2.3.2 Factores que Afectan al Curado.

Diversas son los factores que alteran el curado del hormigón, estos factores son tanto internos como externos.

¹⁶ 308R-2 del American Concrete Institute y la Portland Cement Association coinciden **en esta afirmación**

2.3.2.1 Factores internos.

En relación a los factores propios del hormigón que influyen en el proceso de curado, se encuentran¹⁷:

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

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 periodo mínimo de curado es el plazo necesario para alcanzar un 70% de la resistencia especificada. En la mayoría de los casos y lo que especifica la ACI es un tiempo no menor a 7 días, sin embargo este tiempo viene muy ligado según el tipo de cemento según lo que especifica la ASTM; cemento ASTM Tipo I (7 días), ASTM Tipo II (10 días), ASTM Tipo III (3 días), ASTM Tipo IV o V (14 días) ¹⁸.



Figura 2.3.2.1.1 Cemento “El Puente”

2) Relación agua / cemento (a/c). De la relación agua/cemento depende la

¹⁷GUILLERON M, REGUE C, SANCHEZ Sonzogni, “Análisis Numérico de las Tensiones Producidas por el Secado del Hormigón”

¹⁸ (PORTLAND CEMENT ASSOCIATION “PCA” diseño y Control de Mezclas de Concreto)

resistencia y 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 obedece a la siguiente ecuación:

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

Donde:

R= Relación agua/cemento

A= Agua

C= Cemento

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, son más favorables 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 del agua por los constituyentes del cemento especialmente por el silicato tricalcico (3CaOSiO_2) y el silicato dicalcico (2CaOSiO_2).

En la práctica se utilizan relaciones agua/cemento que van desde 0.23 hasta 0.55, las cuales requieran baja trabajabilidad (hay compactaciones a altas presiones).

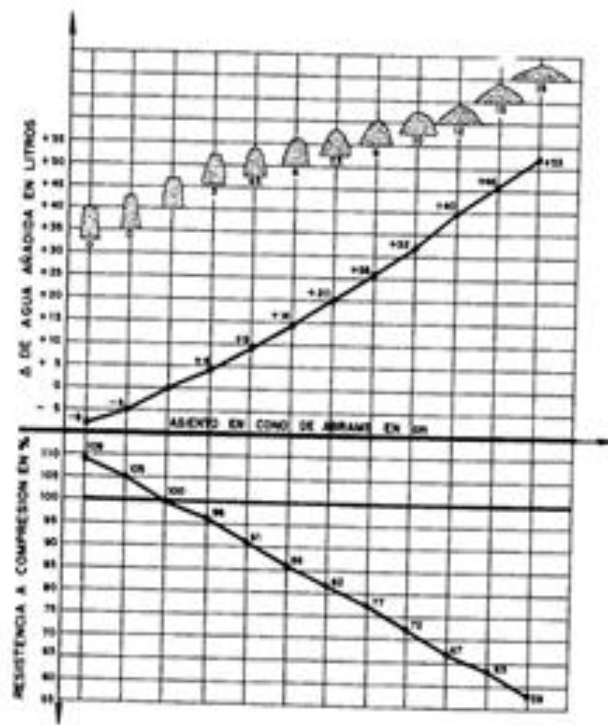


Figura 2.3.2.1.2 Relación consistencia- Agua/cemento”

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

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 agua¹⁹.

4) Temperatura del hormigón.

¹⁹MONTOYA JIMÉNEZ Pedro, GARCIA MESEGUER Alvaro, MORGAN CABRE Francisco, “Hormigón Armado

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

Mantener la temperatura del hormigón en valores cercanos a 20°C (superior a 10°C e inferior a 25°C) permite que la tasa de desarrollo de resistencia permanezca en niveles normales.

2.3.2.2 Factores Externos.

Si la estructura de hormigón no se protege, el agua de amasado se evapora, 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.

1) Temperatura del ambiente.

Las temperaturas extremas afectan al comportamiento del hormigón. 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.

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 un daño considerable cuando la temperatura decrece al punto que el agua contenida en mezclas frescas o en hormigones jóvenes se congela.



Figura 2.3.2.2.1 Termómetro

2) Viento.

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

3) Humedad ambiente.

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

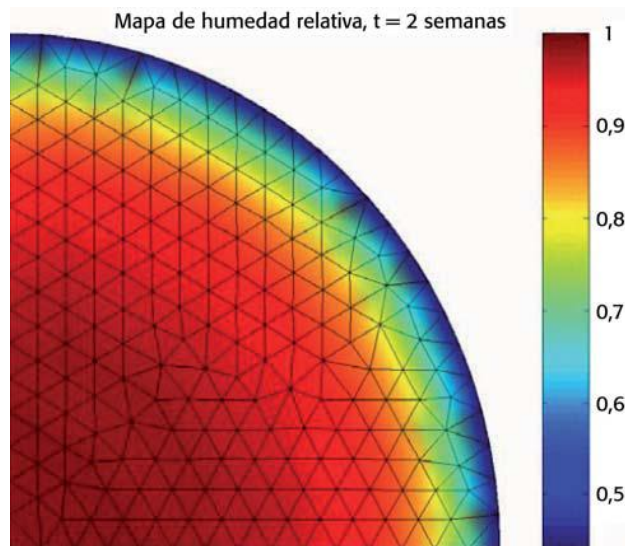


Figura 2.3.2.1.3 Mapa de humedades relativas (saturación = 1) para una muestra cilíndrica con secado unidimensional (sentido radial) a la edad de 2 semanas.

2.3.3 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 del hormigón.

El manual de la ACI especializado en el curado recomienda que la diferencia de temperatura entre el hormigón y el agua de curado no debe exceder los 10°C.²⁰

Los sistemas de curado más aconsejables son los siguientes:

- Curado con agua
- Curado con materiales sellantes

2.3.3.1 Curado con agua.

Dentro de esta clasificación se puede diferenciar los siguientes:

2.3.3.1.1 Curado por sumersión.

Es el método más eficiente de curado, se lo puede catalogar como ideal, debido a que

²⁰ ACI 308.1-98 Standard Specification for Curing Concrete

la hipótesis indica que produce mejores resultados en cuanto a la obtención de una mejor resistencia y disminución del agrietamiento de las piezas, sin embargo este método no es aplicable a la mayoría de elementos estructurales debido a la imposibilidad de sumergir piezas de gran tamaño.

2.3.3.1.2 Curado por roció.

El rociado con agua debe ser continuo y constante. Este método es óptimo cuando la temperatura del ambiente es superior a 10°C. Es un método útil en superficies verticales. Sin embargo la ACI recomienda que el hormigón debe estar húmedo en todo momento, para minimizar la retracción, algo difícil de lograr sin equipos mecánicos.²¹

2.3.3.1.3 Curado por cubierta de material absorbente.

Sacos, mantas de algodón, bolsas de yute y otras cubiertas son útiles en la retención del agua superficial del hormigón. Se disponen sobre la superficie de hormigón y éstas se empapan con agua. Es conveniente colocar este tipo de materiales traslapados y en una mayor cantidad de capas, para una mejor retención de humedad y estabilidad contra el viento y la lluvia. Estos materiales deben estar libres de sustancias que dañen y decoloren el hormigón.

2.3.3.1.4 Curado por arena.

Este método es muy difícil de trabajar, se usó con gran éxito en el curado de pisos y losas de obras pequeñas. Los materiales no deben contener materia orgánica en cantidades peligrosas, este es un método completamente validado por la ACI.²²

2.3.3.1.5 Curado por vapor.²³

Se caracteriza por generar un “Curado acelerado”. El curado con vapor a alta presión, vapor a presión atmosférica, calor y humedad, u otro proceso aceptado, puede emplearse para acelerar el desarrollo de resistencia y reducir el tiempo de curado.

^{21, 22} ACI 308.1-98 Standard Specification for Curing Concrete

²³ AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural, ACI 318S-08

El curado acelerado debe proporcionar una resistencia a la compresión del concreto, en la etapa de carga considerada, por lo menos igual a la resistencia de diseño requerida en dicha etapa de carga.

El procedimiento de curado debe ser tal que produzca un concreto con una durabilidad equivalente a la necesaria.



Figura 2.3.3.1.5 Curado con vapor de agua

De los métodos de curado, el empleo de vapor de agua es el más utilizado en la industria de los prefabricados ya que el vapor de agua no sólo es una fuente de calor efectiva, sino que brinda la humedad necesaria para la hidratación y desarrollar una resistencia temprana al hormigón. Antes de comenzar a aplicar vapor de agua debe tener lugar la fase de asentamiento, ya que con una aplicación demasiado temprana de calor, puede echarse a perder el desarrollo de la resistencia. Dos métodos se usan actualmente para desarrollar mayor resistencia inicial mediante curado por vapor, curado con vapor a presión atmosférica y curado a alta presión. Durante el proceso de curado las piezas de concreto son colocadas en una cámara en la que se introduce vapor de agua a presión atmosférica. Para obtener temperaturas de curados mayores, el vapor de agua se puede introducir a presión en cámaras selladas. Cuando la aplicación de calor procede de un solo lado, en la pieza suelen generarse gradientes de temperatura que pueden crear fisuras microscópicas.

El ciclo de curado por vapor consiste en (1) un intervalo inicial de espera, previo a la acción del vapor; (2) un período de incremento de temperatura; (3) un período en que se mantiene la temperatura constante, y (4) un período de disminución de temperatura. Un típico ciclo de curado

por vapor a la presión atmosférica. En muchos casos el lapso comprendido entre el moldeo y el cierre del vapor permanece aproximadamente constante en 18 horas.

2.3.3.2 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 cantidad de casos, siendo una de las principales, el menor riesgo que el hormigón se seque en los primeros días.

Asimismo, son materiales de fácil manejo y pueden aplicarse antes que los métodos con agua. Dentro de esta clasificación se pueden diferenciar los siguientes: recubrimiento con plásticos y compuestos líquidos formadores de membrana de curado.

2.3.3.2.1 Curado con recubrimientos plásticos²⁴.

Consiste 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 de fácil colocado. La película debe poseer un espesor superior a 0.1 mm, según lo que recomienda la ACI, también menciona los tipos de colores a usar según el clima; En climas soleados es recomendable el uso de películas que reflejen los rayos solares (blancas), mientras en climas fríos es recomendable el uso de películas color negro, las cuales deben evitarse en climas cálidos. Se deben colocar en la superficie húmeda del hormigón lo antes posible, sin

²⁴ ACI 308.1-98 Standard Specification for Curing Concrete

producirse daño y cubriendo 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 a una distancia de al menos el doble del espesor del elemento, el plástico debe ser colocado de forma plana y sin arrugas sobre la superficie, para minimizar la colocación 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 no se recomiendan cuando la apariencia del hormigón es importante, pues pueden manchar las superficies.

2.3.3.2.2 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 0.2 a 0.25 l/m² (rendimiento de 4 a 5 m²/litro). Idealmente el compuesto se debe aplicar en capas perpendiculares sobre la superficie para asegurar la 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 superficies expuestas.

2.3.4 Tiempo de Curado. El plazo de curado dependerá principalmente del tipo de cemento elegido, 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 esta.

La ACI hace especial énfasis en que el tiempo de curado debe ser de 7 días, procurando que el hormigón se mantenga húmedo en ese lapso, debido a que si algún momento éste entra en estado seco, empieza un proceso de retracción plástica más agresivo provocando fisuraciones ²⁵; sin embargo la ASTM también nos dice que este tiempo tiene que ver con el tipo de cemento a utilizar:

- Cemento Tipo I, 7días
- Cemento Tipo II, 10días
- Cemento Tipo III, 3días
- Cemento Tipo IV, 14días

Siendo el cemento Tipo III de alto calor de hidratación y de alta resistencia.

²⁵(AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-08))

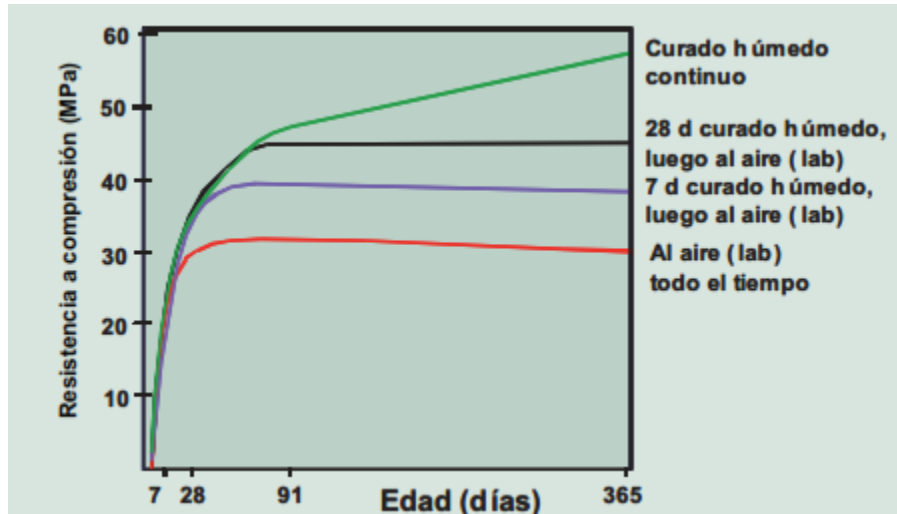


Figura 2.3.4 Esquema de evolución de la Resistencia para distintas condiciones de curado.

Aún cuando las propiedades del hormigón se refieren usualmente a la edad de los 28 días, para la mayoría de las estructuras resulta poco práctico prolongar el curado más allá de los 14 días²⁶.

2.3.5 Consecuencias por Falta de Curado o por Mal Curado PORTLAND CEMENT ASSOCIATION “PCA”

Un curado inadecuado favorece la formación d fisuras y disminuye la impermeabilidad, la resistencia a la intemperie, el 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 importante en dicho proceso. Las consecuencias más importantes producto de un curado deficiente son: ²⁷

2.3.5.1 Fisura por Retracción Plástica

²⁶ LUCO Luis Fernández, Importancia del Curado en la calidad del Hormigón de Recubrimiento

Debido 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 desecamiento 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 este tiene para resistirla, se inducirán fisuras.

Las fisuras de retracción plástica, se producen unas horas después de colocarse el hormigón, pero a veces se a precian a los 2 o 3 días, varían desde unos pocos centímetros hasta 1.5 o 2 metros y suelen tener profundidades de 2 o 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 anterior.

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

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

2.3.5.2 Retracción Hidráulica.

El fenómeno consiste en la disminución de volumen que experimenta el hormigón endurecido, cuando esta expuesto al aire con humedad no saturada. Es debido a reacciones químicas y a la reducción de humedad.

2.3.5.3 Asentamiento Plástico.

Se producen en las primeras tres horas, como efecto de la exudación y su magnitud depende de esta. 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, de escasa trascendencia estructural. La fisuración puede aumentar con un vibrado deficiente o con el uso de encofrados deficientes.

2.3.5.4 Consecuencias del secado prematuro.

Cuando las condiciones no son adecuadas para la evolución de la hidratación, ésta primero se relentiza y luego se interrumpe.

En la práctica habitual de las construcciones con hormigón, siempre se intenta reducir el tiempo de la construcción; una ralentización de las reacciones de hidratación implicará tener que prolongar los plazos necesarios para continuar o librar la estructura al servicio mientras que su interrupción tiene efectos más severos.

Es importante aclarar que, en situaciones reales, no se alcanza la hidratación completa del cemento y es posible observar partículas anhidras en hormigones que han estado expuestos durante muchos años a la acción de la lluvia²⁸.

Cuando la hidratación se detiene por falta de agua libre. Las características de la microestructura corresponden al avance obtenido para las reacciones de hidratación y, por lo tanto, la porosidad capilar y la conectividad de poros son mayores que las que se habrían alcanzado luego de completar las reacciones de hidratación. Por añadidura, la reducción del agua libre induce fenómenos de retracción que podrían agravar la

²⁸ LUCO Luis Fernández, Importancia del Curado en la calidad del Hormigón de Recubrimiento

situación.

2.3.6 Especificaciones del Agua de Curado

El agua potable es permitida de utilizar sin realizar ningún tipo de análisis. En caso de que no se cuente con agua potable en la obra se tiene que realizar los análisis respectivos, por lo que no conviene utilizar aguas cuyo pH sea inferior a cinco, ni las que contengan aceites grasas o hidratos de carbono ²⁹.

2.3.7 Aplicación de la forma de Curado en Obras Civiles en Bolivia

En Bolivia muchos de Los Documentos Base de Contratación sobretodo de obras civiles de mediana y pequeña importancia, se limitan a mencionar que el curado se lo tiene que realizar durante siete días consecutivos con agua potable y que consiste en humedecer el hormigón mediante riego.

La decisión de cual método de curado utilizar depende sobretodo del tipo de elemento estructural:

- **Para Losas.-** En obras mayores como en la construcción de carreteras de pavimento rígido es muy común el uso de un aditivo llamado Antisol S, el cual se lo aplica en forma de rocío, líquido que posteriormente se solidifica formando una membrana transparente que contiene la humedad del pavimento. En obras de mediana y pequeña extensión, el método mas común es el de riego directo con agua, sin embargo también es común el uso de capas de arena o tierra húmeda de alrededor de 3 a 5 cm para humedecer y prevenir el secado prematuro del hormigón, este material es puesto en el elemento una vez pasada las 3 horas del colocado.

²⁹ AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-08)



Figura 2.3.7.1 Curado con Antisol

- **Para Vigas.-** El método más común es el de regado con agua, procurando mantener el hormigón humedecido durante por lo menos siete días, el uso de encofrados laterales generalmente es durante las primeras 24 horas, por lo cual los siguientes días el hormigón queda desprotegido ante los agentes atmosféricos, siendo más susceptible al secado prematuro y fenómeno de helada. También en ocasiones excepcionales se hace uso de plástico o yute húmedo para el curado de vigas.
- **Para Columnas.-** Para el curado de columnas el método más empleado es el del regado con agua, siendo preciso el regado cuantas veces sea necesaria para mantener el hormigón humedecido, otros métodos como el forrado con materiales absorbentes como yute, algodón o plástico para mantener la humedad también son utilizados.

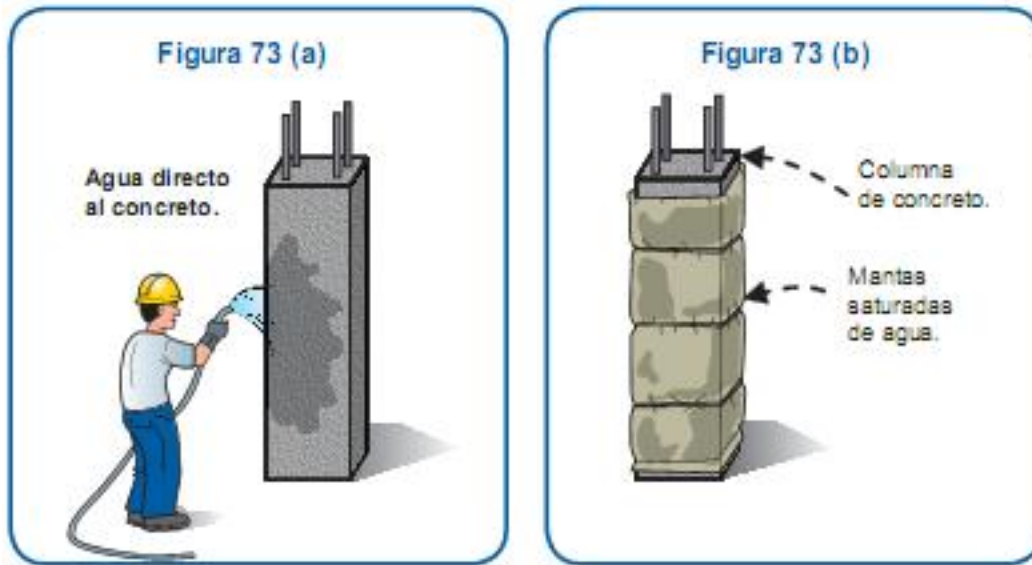


Figura 2.3.7.2 Curado de columnas

3.1 DEFINICIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La Investigación se realiza para determinar la efectividad de los distintos métodos de curado para el hormigón en obra y en condiciones normales.

3.2 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Al mantener la humedad del hormigón durante los primeros siete días de edad, se obtendrá una mejor resistencia, los métodos más efectivos son los que conservan mejor la humedad del hormigón y disminuyen las fisuras lo que deriva en menor retracción hidráulica.

3.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

3.3.1 Agregados

3.3.1.1 Granulometría

El primer ensayo realizado fue el de granulometría de los áridos, para lo cual se utilizó los siguientes tamices; 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8" y N 4 para el agregado grueso y 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100 para el agregado fino.

De dichos ensayos se obtuvieron los siguientes resultados:

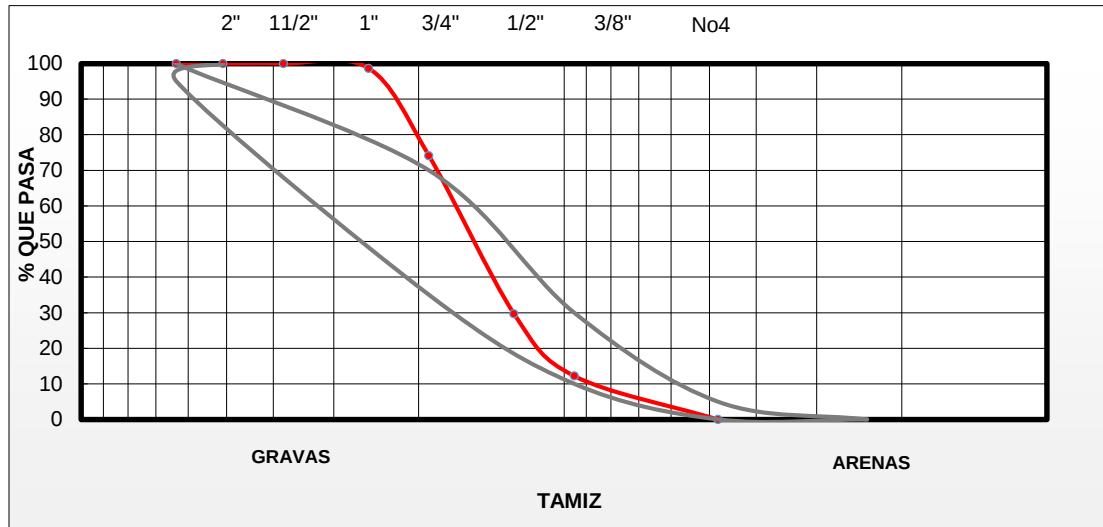
1) Agregado Grueso

GRANULEMETRIA AGREGADO GRUESO		
Tamices	Tamaño	% Que pasa
	(mm)	del total
2 1/2"	63	100.00
2	50.8	100.00
1 1/2	38.10	100.00
1	25.40	98.67
3/4	19.05	74.10
1/2	12.50	29.73

3/8	9.50	12.23
Nº4	4.80	0.00
BASE	0	0.00

Tabla 3.3.1.1.1 Granulometría del agregado grueso

Fuente: elaboración propia



Grafica 3.3.1.1.1 Curva Granulométrica del agregado grueso

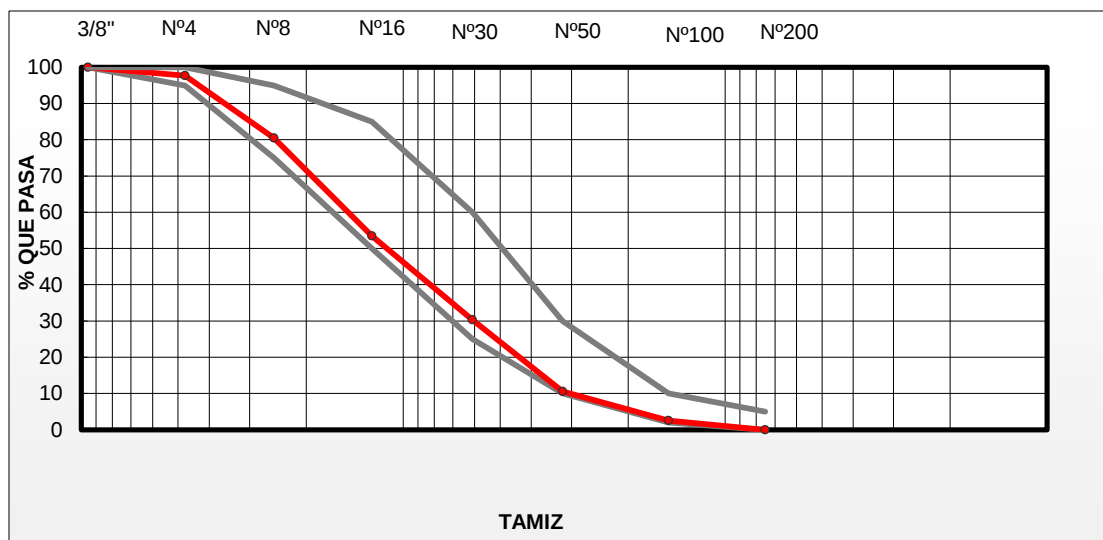
MF= 7.14

1) Agregado Fino

GRANULEMETRIA AGREGADO FINO		
Tamices	tamaño	% que pasa
	(mm)	del total
3/8	9.50	100.0
Nº4	4.75	97.7
Nº8	2.36	80.5
Nº16	1.18	53.4
Nº30	0.60	30.3
Nº50	0.30	10.5
Nº100	0.15	2.5
BASE		0.0

Tabla 3.3.1.1.2 Granulometría del agregado fino

Fuente: Elaboración Propia.



Grafica 3.3.1.1.2 Curva Granulométrica del agregado Fino

MF= 3.25

3.3.1.2 Peso Específico:

1) Grava

Para la determinación del peso específico de la grava se utilizó aproximadamente 16500 gramos de muestra, saturándola por un periodo de 24 horas. Se realizó el mismo ensayo 3 veces para disminuir el margen de error. Para la determinación de dicho peso específico se emplearon las siguientes formulas:

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{B-C}$$

$$\text{Peso específico/ en condición saturado y superficie seca} = \frac{B}{B-C}$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{B-A}{A} * 100$$

Donde:

A: Peso de la muestra secada en el horno en gramos.

B: Peso de la muestra saturada pero con superficie seca en gramos.

C: Peso de muestra saturada dentro del agua en gramos.

Nuestra grava arrojó los siguientes resultados:

Agregado Grueso	gr/cm³
Peso Específico saturado de la superficie seca:	2.57
Peso Específico a granel:	2.51
Peso Específico aparente:	2.67
% de absorción	2.28

Tabla 3.3.1.2.1 Resultados obtenidos de Peso Específico del agregado grueso

Fuente: Elaboración Propia.

2) Arena

Asimismo, se procedió a realizar un ensayo de peso específico del agregado fino, para lo cual se emplearon aproximadamente 1700 gramos distribuidos en tres ensayos para validar los resultados y se utilizaron las siguientes fórmulas para los cálculos respectivos:

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{V - W}$$

$$\text{Peso específico/ en condición saturado y superficie seca} = \frac{A}{((V - W') - (500 - A))}$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{100}{A} * (500 - A)$$

Donde:

A: Peso de la muestra secada en el horno en gramos

V: Peso de la muestra saturada pero con superficie seca en gramos.

W': Peso de muestra saturada dentro del agua en gramos.

La arena arrojó los siguientes resultados:

Agregado Fino	gr/cm³
Peso Específico saturado de la superficie seca:	2.33
Peso Específico a granel:	2.3
Peso específico aparente:	2.36
% de absorción	0.96

Tabla 3.3.1.2.2 Resultados obtenidos de Peso Específico del agregado fino

Fuente: Elaboración Propia.

3.3.1.3 Peso Unitario:

Para el peso unitario se utilizaron moldes cilíndricos de 3 litros de capacidad para el agregado grueso y de 14 litros para el agregado grueso.

Se trabajó con material en estado natural y se determinó el peso unitario suelto y peso unitario compactado de ambos agregados.

1) Grava

Agregado Grueso	gr/cm³
Peso unitario suelto	1.408
Peso Unitario Compactado	1.526

Tabla 3.3.1.3.1 Peso Unitario Agregado Grueso

Fuente: Elaboración Propia.

2) Arena

Agregado Fino	gr/cm³
Peso unitario suelto	1.622
Peso Unitario Compactado	1.724

Tabla 3.3.1.3.2 Peso Unitario Agregado Fino

Fuente: Elaboración Propia.

3.3.2 Cemento

3.3.2.1 Peso Específico

Se comprobó el peso específico del cemento que viene especificado en la bolsa; el peso específico obtenido fue de 3.14gr/cm³

3.3.2.2 Finura del Cemento

Para la finura del cemento se utilizaron 50 gramos del mismo y se trabajó con los tamices N° 40 y N° 200, pesando los pesos retenidos en los mismos.

Para la determinación de la finura se utilizó la siguiente formula:

$$\text{Finura \%} = \left(\frac{\text{peso retenido en malla 200}}{50} \right) * 100$$

El cemento utilizado para el respectivo ensayo fue el cemento “El Puente”. Y la finura obtenida fue de: 75.63 %

3.3.3 Agua de Amasado y de Curado.

Se utilizó agua potable proveniente del Laboratorio de Hormigones de la universidad Juan Misael Saracho es por eso que no hubo la necesidad de realizar ningún tipo de análisis, como lo dicta la norma.

3.4 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN.-



Figura 3.4 Asentamiento de la mezcla de hormigón

La Dosificación de probetas se realizó por el método de ACI para un hormigón H21.

Para la dosificación se trabajó con los siguientes resultados obtenidos de pruebas de la caracterización de materiales.

CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

ENSAYO		Unidad	Valor
1.- Modulo de finura de la arena (MF)		s/u	3.25
2.- Peso unitario Compactado de la grava (PUC)		kg/m ³	1526
3.- Peso específico de la arena (γ_f)		gr/cm ³	2.36

4.- Peso específico de la grava (γ_g)		gr/cm ³	2.54
5.- Absorción de la arena (A_a)		%	0.96
6.- Absorción de la Grava (A_g)		%	1.3
7.- Humedad de la Arena (H_a)		%	6.4
8.- Humedad de la Grava (H_g)		%	3.70
9.- Tamaño máximo Nominal (TMN)		pulg	1.50
10.- Tamaño Máximo (TM)		pulg	1.50
11.- Peso específico del cemento		gr/cm ³	3.14

Tabla 3.4.1 Características de los agregados

CARACTERISTICAS DEL DISEÑO

Resistencia de diseño (f_{ck}')	210	kg/cm ²
Resistencia Característica (f_{ck}) (Tabla 11.12)	295	kg/cm ²
Asentamiento (S) (Tabla 11.4)	3	pulg
Relación Agua / Cemento (a/c) (Tabla 11,13)	0.46	s/u

Tabla 3.4.2 Características de Diseño

DATOS DE TABLAS

Vol. Agr. Grueso / Vol. unitario concreto (b/b_o) (Tabla 11.15)	0.72	s/u
Requerimiento de Agua (A) (Tabla 11.6)	150	kg/m ³

Tabla 3.4.3 Datos de tablas

Los resultados del proceso de dosificación son:

PESOS SECOS DE LOS INGREDIENTES POR (m3) DE CONCRETO			
Ingrediente	Peso Seco	Volumen Absoluto	Peso especifico
	kg/m3	lt/m3	gr/cm3
<i>Cemento</i>	326.09	103.85	3.14
<i>Agua</i>	150	150	1
<i>Grava</i>	1098.72	431.86	2.54
<i>Arena</i>	740.42	314.29	2.36
<i>TOTAL</i>	2315.23	1000.00	

Tabla 3.4.4 Resultados en peso por metro cubico de la dosificación

PROPORCIONES DE MEZCLA		
<i>Cemento</i>	<i>Arena</i>	<i>Grava</i>
1.0	2.3	3.4

Tabla 3.4.5 Proporciones de los materiales de la mezcla

Fuente: Elaboración Propia.

3.5 PROCESO DE VACIADO DEL HORMIGÓN EN LAS PROBETAS.



Figura 3.5.1 Probetas engrasadas listas para el vaciado

El vaciado de todas las probetas se ejecutó después de haber lavado tanto el agregado fino como grueso, se limpió y engrasó bien cada probeta y se humedeció el tambor de la mezcladora. Se verificó que el asentamiento de todas las dosificaciones realizadas el mismo que tenía que rondar entre las 3” obtenidas de tablas en la dosificación de gabinete, se compactó en tres capas con 25 golpes cada una de las probetas, se golpeó con un martillo de goma para quitar el aire atrapado y generar un reacomodo de las partículas, se engrasó y se las dejó inmóviles durante 24 horas antes de ser desmoldadas cuidadosamente y puestas a curar por el método correspondiente.

3.6 INVESTIGACIÓN DEL CURADO

Para poder definir cuál de las alternativas de curado es la más favorable en condiciones ambientales normales, es decir entre 10 y 25°C para elementos estructurales como losas y vigas se estudiaron tres métodos y un cuarto método utilizado de patrón. Todos estos métodos son aceptados por la “Standard Specification for curing Concrete (ACI 308.1-98)”.

Los métodos ensayados fueron:

- Curado por sumersión (ideal y nos sirve de patrón)
- Curado con arena húmeda
- Curado con plástico
- Curado por riego (el más utilizado en obras comunes)

Una vez terminadas de vaciar las probetas se procedió al curado de las mismas, las cuales fueron curadas por siete días tal cual especifica la norma ACI.

A continuación se explica bajo qué condiciones se desarrollaron los distintos métodos de curado.

3.6.1 Curado por Sumersión.

Después de la elaboración de las respectivas probetas e inmediatamente después del desencofrado se procedió a la sumersión de las probetas en agua potable, a una temperatura de 18C, misma que no diferenciaba más de 10 C la temperatura del hormigón.

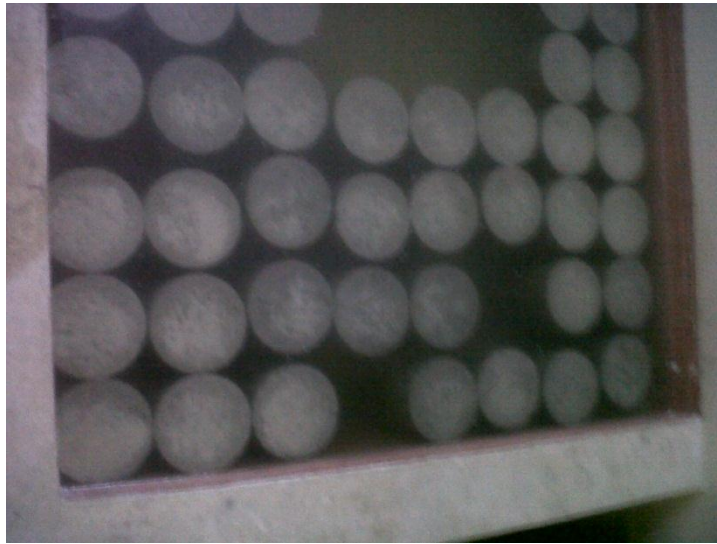


Figura 3.6.1 Probetas sumergidas en agua potable

3.6.2 Curado con Arena Húmeda.

Se utilizó la misma arena con la que se realizó la dosificación de las probetas, por lo cual se tenía un estudio detallado de la misma, verificando que no contenía materia orgánica, tal como arcilla negra, la arena tenía un módulo de finura de 3.25 por lo que se considera una arena gruesa.



Figura 3.6.2 Probetas curadas con Arena Húmeda

3.6.3 Curado con Plástico.

Se utilizó plástico polietileno de color blanco para forrar las probetas, el mismo que es recomendado por la norma para climas templados y con la posibilidad de recibir rayos solares. Se tuvo especial cuidado en forrar las probetas de manera anaeróbica, con la finalidad de no dejar escapar humedad del hormigón, se necesitó aproximadamente 0.25m^2 de polietileno para forrar cada probeta.



Figura 3.6.3 Probeta Forrada con Plástico Poliéster

3.6.4 Curado por Riego.

Se revisaron las especificaciones Técnicas de Documentos Bases de Contratación de obras civiles, en las cuales se hacía mención al curado y que este se tendría que realizar durante siete días y por el método del riego, sin especificar los horarios en los cuales se debe curar ni las temperaturas recomendables.

Para tener una idea más cercana a la forma de trabajo real de los empleados en obras civiles se hicieron las consultas respectivas a contratistas experimentados que son los encargados de fabricar y controlar este tipo de etapas en el hormigón, quienes afirmaron que el hormigón se lo cura en horas de trabajo durante 7 días, aproximadamente cada 3 horas, incluyendo sábados, domingos y feriados días en los que el cuidador es el encargado del regado ya que no se trabaja y como se

quiso simular horarios de obra, se cumplió con el curado durante siete días seguidos, cada tres horas y en horas de trabajo de la manera más estricta posible.

La ambientación de las probetas fue para un clima controlado de laboratorio, con temperaturas entre 15 y 25C, sin exposición al sol; ésto fue para tener un mejor control del curado y no tener variaciones considerables de temperatura, lo que no es lo que sucede en obras pero se aplicó este principio con la finalidad de uniformizar los factores externos en todas las probetas.



Figura 3.6.4 Probetas curadas por riego

3.7 RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la resistencia a compresión para probetas de prueba de la dosificación fueron:

3.7.1 Resistencia Obtenida de Probetas H-21 Rotas a los 14 días.

DATOS DE PROBETAS H21 ROTAS A LOS 14 DIAS			
Prob . N°	Tipo de Curado	Resistencia (Mpa)	Resistencia Promedio(MPa)
29	Sumersión	19.92	19.70
30	Sumersión	20.22	
31	Sumersión	19.00	
32	Sumersión	19.50	
33	Sumersión	20.13	
34	Sumersión	20.76	
35	Sumersión	18.40	
37	Riego	14.72	15.23
38	Riego	13.82	
39	Riego	15.47	
40	Riego	16.17	
41	Riego	14.69	
42	Riego	16.51	
56	Riego	15.21	
43	Plástico	14.78	16.22
44	Plástico	15.91	
45	Plástico	16.68	
46	Plástico	15.71	
47	Plástico	16.55	
48	Plástico	16.25	
36	Plástico	17.68	
49	Arena Húmeda	19.51	18.07
50	Arena Húmeda	19.32	
51	Arena Húmeda	18.18	
52	Arena Húmeda	16.55	
53	Arena Húmeda	16.32	
54	Arena Húmeda	18.29	
55	Arena Húmeda	18.30	

Tabla 3.7.1 Resistencia Obtenida de Probetas H-21 Rotas a los 14 días



Figura 3.7.1 Probeta en la prensa

3.7.2 Resistencia Obtenida de Probetas H-21 Rotas a los 28 días.

DATOS DE PROBETAS H21 ROTAS A LOS 28 DIAS			
Prob. N°	Tipo de Curado	Resistencia (MPa)	Resistencia Promedio (MPa)
1	Sumersión	21.78	21.85
2	Sumersión	22.36	
3	Sumersión	21.24	
4	Sumersión	22.05	
5	Sumersión	22.01	
6	Sumersión	22.95	
7	Sumersión	20.56	
8	Plástico	18.15	18.71
9	Plástico	18.56	
10	Plástico	19.89	
11	Plástico	19.95	
12	Plástico	18.24	
13	Plástico	17.95	
14	Plástico	18.25	
15	Riego	16.57	17.64
16	Riego	17.85	
17	Riego	17.27	
18	Riego	17.51	
19	Riego	17.1	
20	Riego	17.84	
21	Riego	19.32	
22	Arena Húmeda	21.03	20.51
23	Arena Húmeda	19.52	
24	Arena Húmeda	20.89	
25	Arena Húmeda	19.82	
26	Arena Húmeda	20.52	
27	Arena Húmeda	20.78	
28	Arena Húmeda	21.02	

Tabla 3.7.2 Resistencia Obtenida de Probetas H-21 Rotas a los 28 días



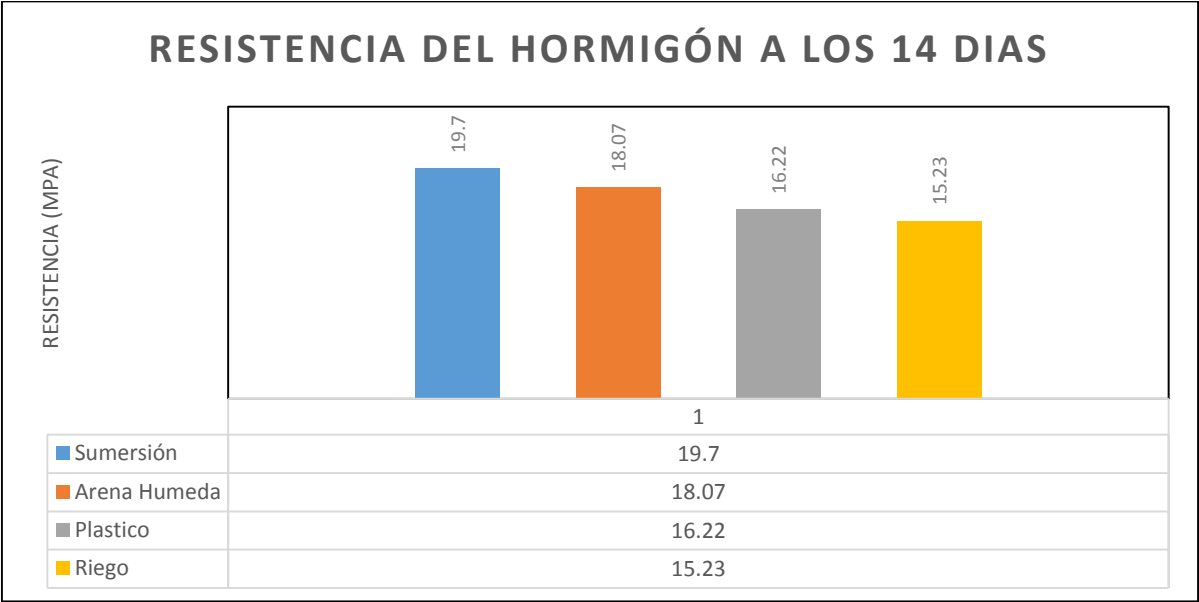
Figura 3.7.2 Probeta Rota en la Prensa

4.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN.

La definición de la resistencia a compresión del hormigón está asociada a una fracción defectuosa aceptable y no tiene sentido 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 Hormigones H-21 a los 14 días.

La resistencia a la compresión de los hormigones H-21, a los 14 días por los distintos métodos, se observan en la gráfica 4.1.1, en la gráfica es evidente la gran diferencia de resistencia obtenida entre los distintos métodos, principalmente entre el del curado ideal respecto a los demás, también es posible apreciar que el curado por riego es el más ineficiente debido a que no se cumplido con no dejar que la superficie se mantenga húmeda durante todo momento, por más que se la haya cumplido con el regado durante los siete días.

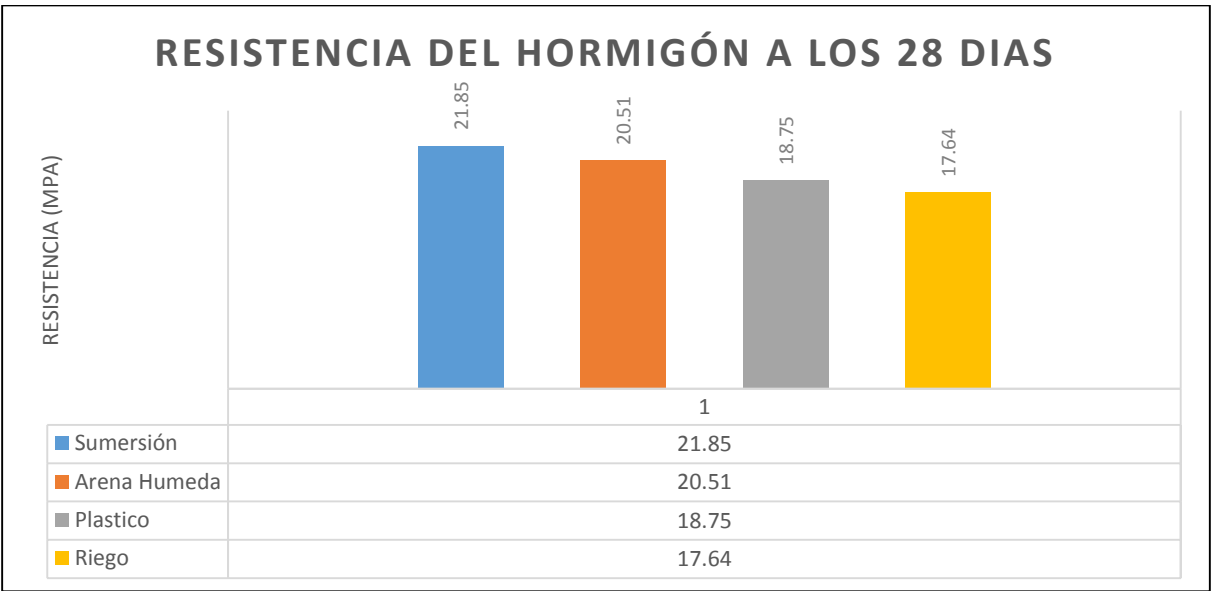


Grafica 4.1.1 Resistencia del Hormigón a los 14 Días Obtenida por los Métodos Investigados.

4.1.2 Hormigones H-21 a los 28 días.

En la gráfica 4.1.2 se puede observar la resistencia del hormigón a los 28 días, en la cual se observa que el único método que cumplió con una resistencia mayor a los 21Mpa fue el Ideal con 21.85 MPa, seguido muy de cerca por el método de la arena húmeda con 20.51 MPa, el método mediante

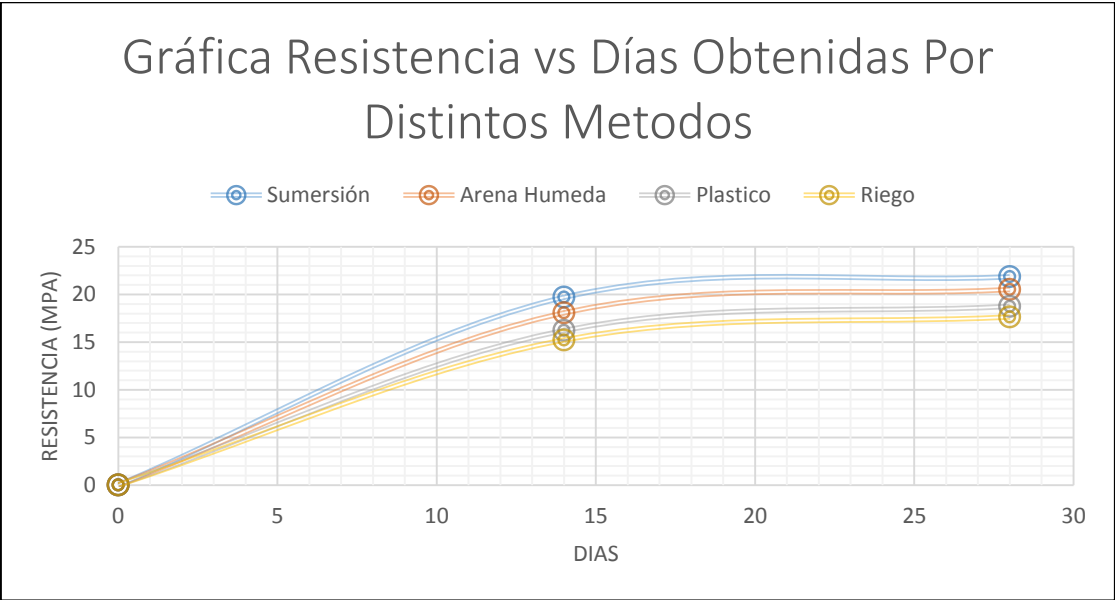
el cual se forro anaeróbicamente las probetas con plástico polietileno alcanzó los 18.75 MPa y el método más deficiente es el del riego, el cual obtuvo 17.64Mpa.



Grafica 4.1.2 Resistencia del Hormigón a los 28 Días obtenida por los métodos investigados

4.1.3 Superposición de Resistencias a Compresión a Diferentes Edades

En la gráfica 4.1.4 se puede observar que sin importar la edad del hormigón el método ideal siempre será el que tendrá mayor resistencia, también se evidencia que la predominancia de un método más óptimo que otro se mantiene sin importar los días de vida que el hormigón tenga.

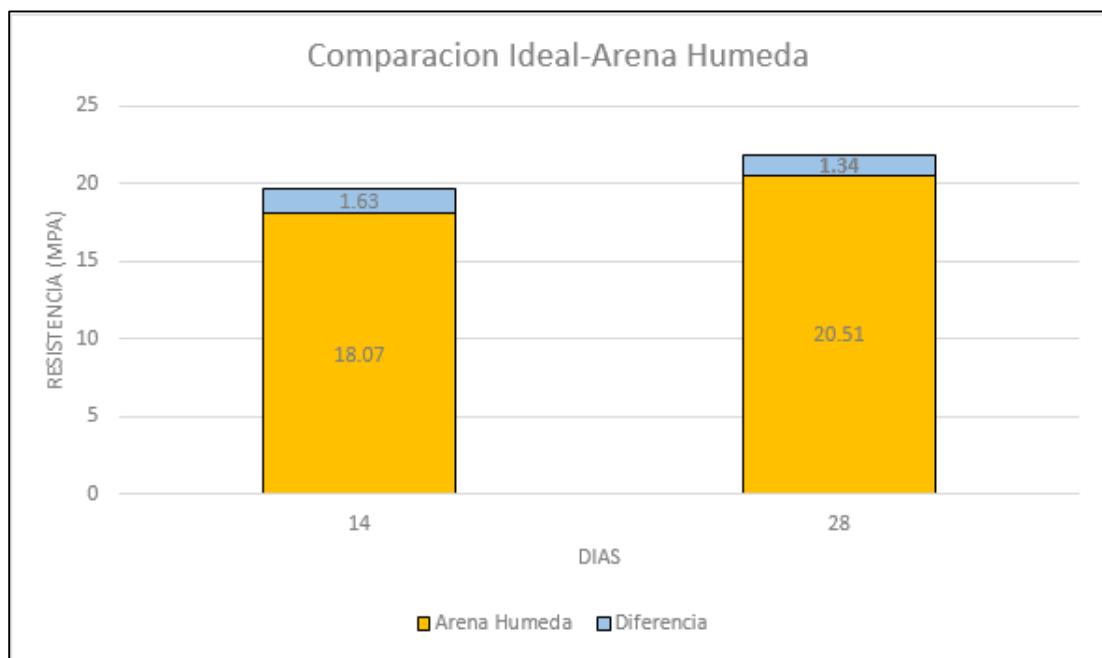


Gráfica 4.1.3 Resistencia Vs Días de curado obtenida por los distintos métodos

4.1.4 Diferencia de las Resistencias entre el Patrón “Curado por Sumersión” y los Otros Tipos de Curado Estudiados.

4.1.4.1 Comparación Sumersión – Arena Húmeda

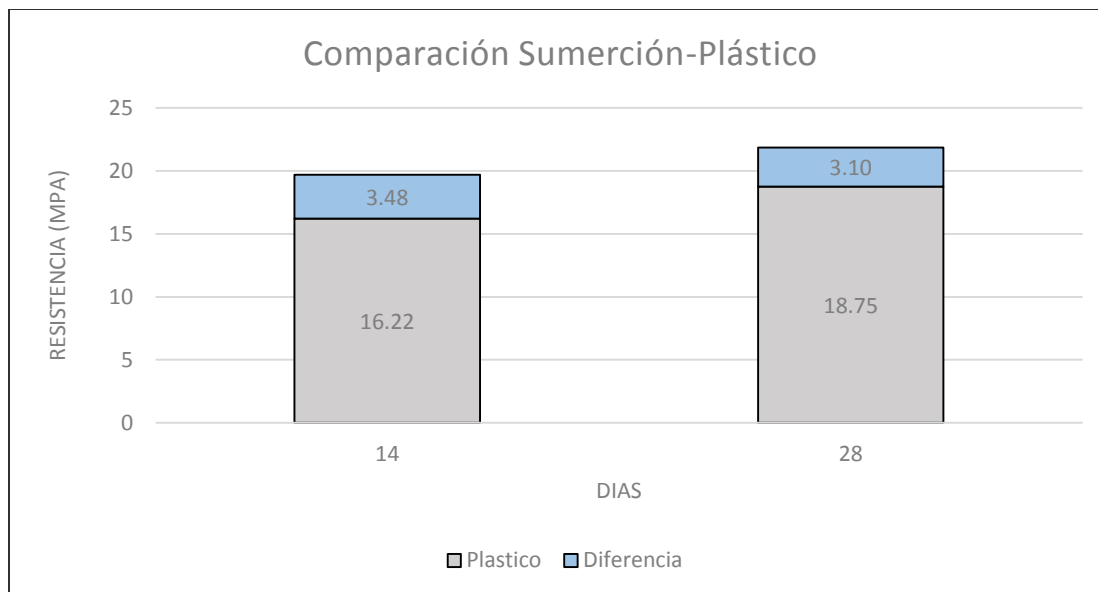
Como se apreció en las anteriores gráficas, el segundo método consistente fue el método de la Arena húmeda, el cual comparado con el ideal difiere en 1.63MPa a los 14 días y en 1.34MPa a los 28 días, cabe recalcar que no hubo necesidad de regar intensivamente la arena, ya que ésta conservaba bien su humedad.



Grafica 4.1.4.1 Comparación de la resistencia obtenida por Sumersión – Arena Húmeda

4.1.4.2 Comparación Sumersión – Plástico

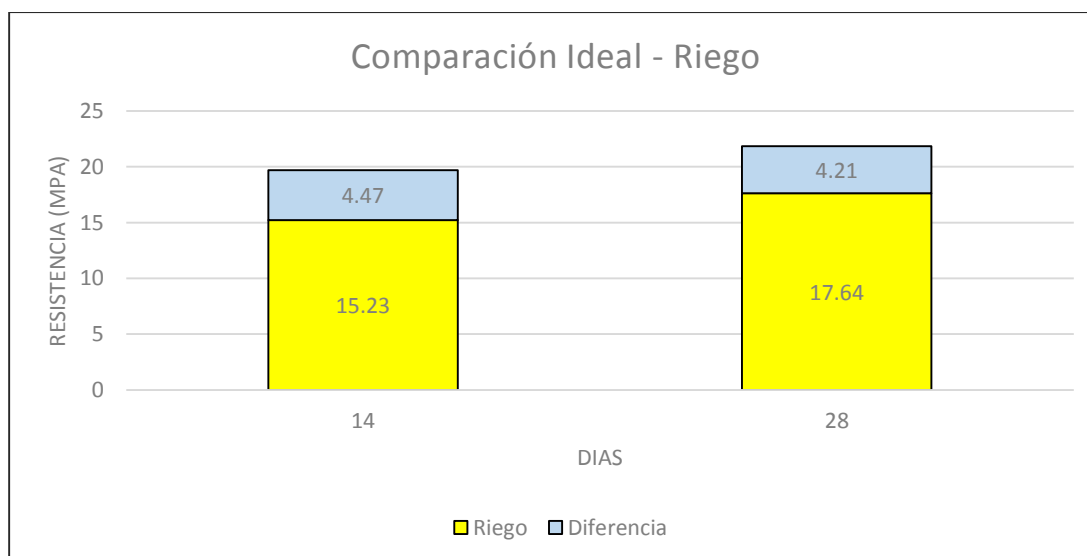
El método en el que se forraron anaeróbicamente las probetas con plástico obtuvo resultados con una diferencia considerable respecto al método ideal las cuales fueron: de 3.48MPa a los 14 días y de 3.10MPa a los 28 días con relación al método de curado ideal. No hubo necesidad de volver a regar las probetas ya que estas conservaron su humedad, lo cual fue ventajoso ya que no había necesidad de prestarle mayor atención a este tipo de curado.



Grafica 4.1.4.2 Comparación de la resistencia obtenida por Sumersión – Plástico

4.1.4.3 Comparación Sumersión – Riego

El método en el que se regaron las probetas de hormigón paulatinamente cada determinado tiempo, es el más deficiente debido a que es el que presenta mayor diferencia de resistencia con respecto a los demás métodos y sobre todo al ideal las cuales fueron: de 4.47MPa a los 14 días y de 4.21MPa a los 28 días.



Grafica 4.1.4.3 Comparación de la resistencia obtenida por Sumersión – Riego

4.1.5 Diferencia en Porcentaje del Curado Ideal en Comparación a los Otros Métodos de Curado.

Tipo de curado	% Que excede el Curado Ideal a los 14 días	% Que excede el Curado Ideal a los 28 días
Arena Húmeda	8.27	6.13
Plástico	17.66	14.19
Regado	22.69	19.27

Tabla 4.1.5 Comparación porcentual de los métodos respecto al método de sumersión
Fuente: Elaboración Propia.

En la siguiente tabla se pueden apreciar más claramente las diferencias de la resistencia del hormigón, esta tabla conduce a conclusiones directas en cuanto a la importancia del curado en un hormigón

4.2 APLICABILIDAD DE LOS MÉTODOS ESTUDIADOS

A continuación se procederá al analizar la aplicabilidad de cada método en condiciones de obra.

4.2.1 Método Sumersión.

Este método es prácticamente imposible de aplicarlo en elementos estructurales en condiciones normales de obra ya que el agua siempre tiende a fluir y no se pueden sumergir, ni las vigas, ni columnas, ni losas por su tamaño y también porque se las fabrica en sitio. Es por eso que éste se considera el método ideal por que no se puede aplicar.

Curado Por Sumerción	
Ventajas	Desventajas
Se consigue una buena hidratación del hormigón	Inaplicable en cualquier tipo de elemento estructural

Protección contra agentes atmosféricos	Se requiere un volumen de agua muy grande
El fenómeno de secado prematuro no se produce	Requiere de lugares donde se pueda empozar el agua sin perdidas
No se requiere de mayores cuidados una vez sumergido el hormigón	

Tabla 4.2.1: Ventajas y desventajas del Curado por Sumersión.

4.2.2 Método Arena Húmeda.

Este método es muy recomendable para losas y no se debe aplicar en capas mayores a los 5 cm, para no producir una carga considerable que dañe al elemento estructural. La arena es complicada de maniobrar debido a que al recibir agua esta tiende a desmoronarse y a perder su forma original. También requiere de gran mano de obra para su colocado y posterior retiro.

Curado por Arena Húmeda	
Ventajas	Desventajas
Conserva muy bien la humedad	Requiere de mucha mano de obra para su aplicación

Buena protección contra los agentes atmosféricos	No es recomendable su uso muros y columnas
Se puede utilizar en losas y algunas vigas	
Necesita de análisis de contenido de finos y materia orgánica antes de su aplicación	

Tabla 4.2.2: Ventajas y desventajas del Curado con Arena Húmeda.

4.2.3 Método del Forrado Plástico.

El forrado con plástico es un método que se puede aplicar a todos los elementos debido a que se puede acomodar a cualquier forma de una manera fácil, es un material de precio accesible y sus principales ventajas radica en la poca atención que se debe tomar al curado una vez que se forró anaeróticamente los elementos estructurales y la poca cantidad de agua que se debe utilizar para este método de curado.

Curado con Plástico	
Ventajas	Desventajas
Conserva la humedad del hormigón durante los siete días necesarios	No se obtiene una óptima resistencia
Protege contra el viento	Requiere de mucha mano de obra para el forrado anaeróbico

Se puede Utilizar para todos los elementos estructurales	Dificultad en rehidratar el hormigón en caso de una relación agua cemento baja
Se puede mantener mejor la humedad del hormigón al colocar el plástico en el encofrado lo que reduce la pérdida de agua por exudación en etapa plástica.	Por la fragilidad del mismo no se recomienda reciclarlo
Se pueden variar los colores según clima y época del año, para mejor protección contra agentes atmosféricos	

Tabla 4.2.3: Ventajas y desventajas del Curado con Forrado Plástico.

4.2.4 Método del Riego.

Con este método es sumamente complicado cumplir con lo especificado en la norma ACI debido a que en horarios no laborales es imposible mantener húmedo el hormigón, disminuyendo así los esfuerzos por retracción. También depende mucho de la responsabilidad de los obreros en obra, esperando que cumplan los horarios establecidos por el contratista.

Curado por Riego	
Ventajas	Desventajas
Es un método práctico de aplicar	Requiere de mucho volumen de agua, mayoría de la cual se desperdicia
Se puede utilizar para todos los elementos estructurales	Poca protección contra los agentes atmosféricos

Es un método que resulta muy económico	Método que hace propenso al hormigón a sufrir secado prematuro y cortar el proceso de hidratación
	Se obtiene baja resistencia respecto a los demás métodos estudiados y requiere especial atención

Tabla 4.2.4: Ventajas y desventajas del Curado por Riego.

5.1 CONCLUSIONES

- Se cumplió el objetivo principal del trabajo de investigación al demostrar cuantitativamente la variación de la resistencia a compresión del hormigón por la forma de curado, siendo el método de sumersión el más efectivo.
- El único método que cumplió con el objetivo de llegar a la resistencia a compresión de 21 MPa fue el método de sumersión, seguido muy de cerca por el método de la arena húmeda.
- Se determinó que la arena empleada en el curado no contenía finos perjudiciales y conservaba la humedad en el hormigón de manera óptima.
- El estudio comparativo de los resultados de laboratorio obtenidos respecto a los 21MPa planteados como objetivos se reflejan en la siguiente tabla:

Comparación porcentual de la resistencia característica a los 28 días respecto a los 21 MPa		
Sumersión	104.05	%
Arena Húmeda	97.67	%
Plástico	89.11	%
Riego	83.99	%

Tabla 5.1: Comparación porcentual de la resistencia característica a los 28 días respecto a los 21 MPa

- El método de sumersión es con el que mejor resultados de resistencia a compresión se consigue y se considera que se obtiene la resistencia perfecta pero es prácticamente imposible de utilizar, por eso consideramos que este método es “Ideal”.
- El método de Arena Húmeda fue el más próximo al método de sumersión (en un orden al 6.13% a los 28 días), es un método poco práctico debido a que tan solo se podría aplicar a losas y a algunas vigas, también es difícil de maniobrar debido a que la arena tiende a perder su forma al aplicarle agua y requiere de gran movimiento de mano de obra.

- Con el método del forrado plástico no se obtuvieron buenos resultados en cuanto a la resistencia a compresión y varía en un orden del 14.19% respecto al método ideal, pero es práctico de aplicar, lo que conlleva grandes ventajas respecto a otros métodos.
- El método del riego es el que resultados más bajos arroja en cuanto a la resistencia en un orden del 19.27% menos que el método ideal, es muy difícil cumplir con lo especificado en la norma ACI que hace mención a tener un especial cuidado de mantener el hormigón siempre húmedo y evitar que entre en estado seco en el proceso de curado lo que produce una menor resistencia y durabilidad en el hormigón.
- Todo método que utilice agua potable o que tenga la posibilidad de mantener el hormigón húmedo durante los 7 días posteriores al vaciado sin dejar que el hormigón entre en un estado seco en el proceso de curado, se considera bueno, hay que darle especial valoración a la aplicabilidad o trabajabilidad de dicho método.
- Hoy en día no se toma los cuidados pertinentes en el curado del hormigón y muchos de los Documentos Bases de Contratación se limitan a mencionar que el curado se debe realizar durante 7 días y que consiste en aplicar el agua en forma de riego, sin especificar las horas, ni la forma que se debe realizar el proceso.

5.2 RECOMENDACIONES.

- Bajo ningún punto de vista se debería curar las probetas testigo extraídas en obra de manera ideal en el laboratorio si es que la obra se aplicará otro método de curado, vale indicar que la probeta debe ser curada de la misma forma que en la obra, para obtener resultados más próximos a los reales.
- El método de sumersión es prácticamente inaplicable en obras civiles, con elementos estructurales fabricados en sitio.
- Debido a la dificultad de utilización del método de la arena húmeda, se recomienda poner la arena ya humedecida en el hormigón para evitar que ésta se desmorone y pierda su forma.
- En el método del forrado plástico hay que tener especial cuidado en forrar los elementos estructurales, tratando de que éste no deje escapar el agua contenida en el interior del hormigón.
- Para el método del forrado plástico se pueden utilizar colores oscuros en épocas de poco sol o de invierno y colores claros o blancos en épocas calurosas o cuando los elementos están expuestos al sol.
- Para el método del riego, el agua no debe chocar con fuerza contra el hormigón y se debe evitar que el hormigón entre en estado seco, lo que resultaría dañino para el elemento estructural, objetivo difícil de cumplir al menos que se tengan los equipos necesarios tal como regadores automáticos programables.
- En caso de que se curen probetas de manera ideal por el método de sumersión durante siete días continuos se debería tomar en cuenta que la resistencia real obtenida por otro método (el que se vaya a utilizar en obra) será menor, pudiendo utilizar los datos obtenidos en este trabajo como referencia.
- En el Documento Base de Contratación se deberían indicar formas de curado adecuadas con las especificaciones dirigidas a que se cumplan todas las condiciones que exige la norma.

