

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



EFFECTO DEL USO DE ALCOHOL POLIVINÍLICO COMO
AGENTE DE CURADO INTERNO EN EL CONCRETO

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

AUTOR

PEDRO JESUS CASTRO GUINOCHIO

ASESOR

HECTOR AUGUSTO GAMARRA UCEDA

<https://orcid.org/0000-0002-3653-1394>

Chiclayo, 2020

Índice

Resumen.....	4
Abstract	5
I. Introducción	6
II. Marco teórico.....	8
2.1 Antecedentes del problema	8
2.2 Bases teórico - científicas	15
2.2.1 Concreto.....	15
2.2.2 Componentes del concreto	15
2.2.2.1. Cemento:	15
2.2.2.2 Agregados	16
2.2.2.3. Agua.....	17
2.2.2.4 Aditivos.....	17
2.2.3 Propiedades del concreto	18
2.2.3.1 Propiedades del concreto fresco	18
2.2.3.2 Propiedades del concreto endurecido.....	21
2.2.4 Factores que afectan a la resistencia del concreto	24
2.2.4.1 Tipo de cemento	24
2.2.4.2 Tipos de agregados	24
2.2.4.3 Tipo de agua de mezcla.....	24
2.2.4.4 Relación agua/cemento (a/c)	25
2.2.4.5 Curado del concreto.....	25
2.2.2.5 El curado en el concreto.....	25
2.2.2.5.1 Tipos de curado	26
2.2.2.5.2 CURADO INTERNO DEL CONCRETO	30
2.3 Definición de términos básicos	33
III. Materiales y métodos	36
3.1. Tipo de estudio y diseño de contrastación de hipótesis	36
3.2. Variable y operacionalización.....	36
3.3. Población, muestra de estudio y muestreo	37
3.4. Metodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	38
3.5. Procesamiento para el análisis de datos.....	38
IV. Resultados y discusión	38
4.1. Resultados.....	38
4.2. Efectos del alcohol polivinílico.....	39
V. Conclusiones.....	46

VI. Recomendaciones	47
V. Referencias bibliográficas	47
VIII. Anexos	50

Resumen

El concreto es el principal material de construcción en el Perú, puesto que el 56% de todas las viviendas son edificadas con este material tan versátil. Uno de los factores que más influye en la calidad del concreto es el curado (es el segundo con 19% de repercusión después del diseño de mezcla), este proceso es de vital importancia pues está demostrado que si no se ejecuta de manera correcta reduce hasta en un 40% la resistencia del concreto, causando también innumerables fisuras y afectaciones en la durabilidad de este. La mala ejecución de los métodos de curado tradicionales son responsables en gran parte de la deficiencia en el concreto, pues se han visto anclados en el pasado a pesar de los grandes avances y descubrimientos tecnológicos, caracterizándose por el uso de grandes volúmenes de agua, materiales ineficientes acorde a la tarea y el uso exhaustivo de recurso humano que necesita de una supervisión para la ejecución correcta de dicha actividad, dejando en manos de la idiosincrasia del personal de obra el futuro de la estructura de concreto.

El objetivo de esta investigación es determinar los efectos que se produce en el concreto al usar alcohol polivinílico como agente de autocurado, esto como alternativa de reemplazo a los ya antiguos y trabajosos métodos tradicionales para curar el concreto. La idea planteada contribuye al estado de conocimiento sobre materiales alternativos de construcción a nivel local y nacional (debido a que no se cuentan con estudios sobre el tema). Para el desarrollo de esta investigación se ha recurrido al análisis de contenido de fuentes confiables de naturaleza reciente (como tesis y artículos científicos del año 2010 en adelante) para tener una base teórica. Como resultado general del procesamiento de datos se determinó que el uso de alcohol polivinílico en las mezclas de concreto, contribuye a mejorar sus propiedades mecánicas, aumentar la durabilidad y garantizar una correcta humedad a lo largo de la vida del espécimen de concreto, en el ámbito económico, logra totalmente su cometido, pues ya no se usa energía humana para esta tarea, es decir es automática, por lo cual cualquier pago o gasto referente a la intervención humana queda desplazado por la implementación de este material; por lo tanto es un material óptimo para el desarrollo y tecnología en el concreto.

Palabras clave: Concreto, curado interno, alcohol polivinílico, polímeros.

Abstract

Concrete is the main construction material in Peru, since 56% of all homes are built with this versatile material. One of the factors that most influences the quality of the concrete is curing (it is the second with 19% impact after the mix design), this process is of vital importance because it is determined that if it is not carried out correctly, reduce up to 40% the strength of the concrete, also causing innumerable damages and effects on its durability. The poor execution of traditional curing methods are largely responsible for the deficiency in concrete, as they have been anchored in the past despite great advances and technological discoveries, characterized by the use of large volumes of water, materials inefficient according to the task and the exhaustive use of the human resource that needs supervision for the correct execution of said activity, leaving the future of the concrete structure to the idiosyncrasy of the construction personnel.

The objective of this research is to determine the effects that occur in concrete when using polyvinyl alcohol as a self-curing agent, as a replacement alternative to the old and traditional methods of curing concrete. The idea proposed contributes to the state of knowledge about alternative construction materials at the local and national level (because there are no studies on the subject). For the development of this research, content analysis from reliable sources of a recent nature (such as theses and scientific articles from 2010 onwards) has been used to have a theoretical basis. As a general result of the data processing, the use of polyvinyl alcohol in concrete mixtures was determined, helping to improve its mechanical properties, increasing durability and evaluating a moisture correction throughout the life of the concrete specimen, in the economic field, completely achieves its task, since human energy is no longer used for this task, that is, it is automatic, so any payment or expense related to human intervention is displaced by the implementation of this material; therefore it is an optimal material for concrete development and technology.

Keywords: Concrete, self curing, polyvinyl alcohol, polymers.

I. Introducción

El concreto es el material elaborado a partir de una mezcla de áridos, cemento, agua y aire; que se destaca como el material de construcción más utilizado en el mundo, consumiéndose a diario millones de metros cúbicos de este material en las construcciones de obras civiles alrededor del planeta. De acuerdo con la Asociación de Productores de Cemento (ASOCEM), en Perú se usaron aproximadamente 31 millones de metros cúbicos de concreto en todo el país durante el año 2019. [1]

El concreto a la par de su gran maniobrabilidad y usos variados, también posee ciertas complicaciones especiales al momento de su aplicación pues para que el concreto cumpla con las especificaciones para el cual va a ser utilizado, como es principalmente la resistencia a la compresión, es necesario que, en los primeros días de edad, se encuentre en un entorno que reúna adecuadas condiciones de temperatura y humedad, que aseguren la hidratación del cemento por la influencia que esta característica tiene sobre la resistencia y la durabilidad del concreto. Los métodos utilizados para mantener estas condiciones son conocidas como métodos de curado del concreto. Siempre se debe enfatizar la necesidad de curado, pues tiene una fuerte influencia sobre las propiedades del concreto endurecido, es decir, el curado adecuado hace que el concreto tenga mayor durabilidad, resistencia, impermeabilidad, resistencia a abrasión, estabilidad dimensional, resistencia a congelación-deshielo. [2]; En el Perú se ha detectado que esta práctica en obra es deficiente, razón por la cual los especímenes que se toman de muestra y que son cuidados en condiciones especiales, no son el reflejo del elemento al pie de obra. Esto indica que mientras que un espécimen está alcanzando una resistencia a compresión (f^c) del 99% del diseño, porque ha estado en inmersión de agua durante 28 días, el elemento en el proyecto puede llegar a desarrollar solo el 60% o 70% por las deficiencias en el tipo de curado que es ejecutado en obra, se presenta la necesidad de tener un método o mezcla que presente equidad de alguna manera sobre los resultados obtenidos en obra y en el laboratorio sin depender de la acción humana. [3].

Hoy en día, alrededor del mundo se están implementando diferentes métodos o nuevas maneras de llevar a cabo el curado en la superficie del concreto, teniendo siempre como objetivo que esta tarea tan engorrosa pero vital se automatice o desvincule responsabilidades humanas, pues al depender de ellas el concreto destina su futuro a la idiosincrasia del personal de obra, el cual muchas veces tiene una falta de sensibilización sobre el tema, o en algunos casos lo considera una tarea de 3er orden o caprichos del personal de supervisión, por lo cual a la primera distracción de estos, esta tarea deja de cumplirse. Hay varias soluciones para el curado del concreto las cuales difieren en eficiencia, son difíciles de ejecutar y pocas veces se aplican de forma eficiente bajo formas variadas (piscinas, canales, etc.); entre éstas se encuentran el curado húmedo, membranas

de polietileno, mantas o telas sumados a membranas impermeables o compuestos líquidos formadores de membrana. El método de curado húmedo puede llevarse a cabo por inundación, rociado o en forma de vapor; ocasionando consumo abundante de recurso hídrico y ocupación de horas hombre supeditadas a esta tarea la cual en algunas veces es ineficiente por la responsabilidad que amerita (rociados intermitentes a lo largo del día) y los resultados que logra, en este caso por la baja penetración de la humedad externa proporcionada; la tarea del rociado queda eliminada al implementar la utilización de paños húmedos en todas las superficies de la estructura para que estas continuamente den al concreto un ambiente húmedo, el problema llega cuando estas telas se secan por un retardo en la tarea de humedecido de las fibras las cuales pueden llegar a extraer, por su misma estructura, el agua que necesita la mezcla para poder realizar la hidratación del concreto, teniendo como consecuencia, la pérdida en la resistencia final; el método donde la responsabilidad humana se ve desligada es el curado mediante líquidos formadores de membranas, estos compuestos forman una película protectora en la superficie de concreto, la cual tiene como función principal evitar que el agua de la mezcla se evapore, y por consiguiente quede adherida a dicha capa, como resultado esta agua siempre estará en la superficie del cuerpo de concreto, generando de esta manera un curado, que por las características del proceso, solo es superficial, según la investigación de Pretell en el 2017 y de Loya en el 2018, esta membrana acompañada por su forma de curado no alcanzan la resistencia de diseño en el concreto, pues a los 28 días de edad, la probeta, después del análisis estadístico de población, arroja una deficiencia del 19% a 25% en la resistencia en comparación a las probetas curadas bajo inmersión y una disminución del 8% al 18% sobre la resistencia de diseño (PRETELL 2017; OLIVERA 2018), pues la función de este aditivo no es completa y forma parte de un paliativo ante la ausencia de un método de curado tecnológico que deslinde las responsabilidades humanas así como también garantice una resistencia de diseño y la vida de la obra de concreto.

Un punto importante a resaltar es que el sector construcción es responsable del 16 % del consumo mundial de agua [4], asimismo, Dubravic estudió el consumo de agua en una vivienda tipo de dos plantas en Bolivia, con una superficie de 100 a 200 m², llegando a establecer que el consumo de agua fue de 0,684 m³/m², donde el curado de hormigones y riego de encofrados consumió el 62% del volumen estipulado [5]; confirmando el consumo excesivo del recurso hídrico que involucran los métodos tradicionales de curado del concreto, los cuales en un mundo actual donde el agua dulce es cada vez más valiosa y escasa pierden total vigencia, por ello se necesitan nuevos métodos que se ajusten más a las necesidades de comportamientos sostenibles y de protección al medio ambiente de la mano de los avances tecnológicos.

Frente a lo descrito anteriormente surge la interrogante ¿El alcohol polivinilo es una alternativa sostenible en el curado del concreto más eficiente que el método tradicional?. Se planteó como

objetivo general Conocer la eficiencia del curado interno del concreto con alcohol polivinílico en comparación al método tradicional verificando la retención de humedad y resistencia mecánica. Como objetivos específicos se establecieron: Conocer la reducción del volumen de agua utilizado en el curado con Alcohol polivinílico comparado con el método tradicional y con aditivo curador; Comprender el impacto del alcohol polivinílico en la retención de humedad del concreto; Comprender el impacto del alcohol polivinílico en la resistencia a la compresión del concreto; Comprender el impacto del alcohol polivinílico en la resistencia a la flexión del concreto; Comprender el impacto del alcohol polivinílico en la durabilidad del concreto.

La justificación de este trabajo viene enmarcada en los siguientes puntos: en el ámbito científico, se encontró necesaria la realización de esta investigación puesto que a nivel nacional y más aún a nivel local, no se cuentan con estudios acerca del uso de polímeros en mezclas de concreto. En el aspecto ambiental, este estudio promueve la reducción del consumo de agua en el sector construcción destinada para la tarea del curado, contribuyendo así al desarrollo sostenible del país.

II. Marco teórico

2.1 Antecedentes del problema

Durante años diversos autores han tratado de solucionar el problema de la deficiente calidad del concreto que ocasiona la falta de curado, y la manera de poder automatizarla, reducir sus tiempos o desligar responsabilidades humanas que esta tarea trae consigo, partiendo de estas características podemos destacar las siguientes investigaciones:

A. Vasquez Taico, «Concreto autocurable $f'c=210$ kg/cm², reemplazando un porcentaje de agregado grueso con traquita» Tesis de Grado, Cajamarca, 2019. [6]

En este caso la autora continuo con la investigación de F. Pretell en el estudio de la traquita para el curado interno del concreto pero ahora desarrollándolo entorno a la resistencia de concreto más comercial en el uso estructural de obras; obteniendo que para una relación relativamente alta de agua/cemento, los efectos beneficiosos que la traquita saturada asignada al anterior estudio ahora se ven más afectado, es decir el autocurado con traquita funciona mejor con relaciones agua-cemento bajas equivalentes a concretos de alta resistencia. Sin embargo el autocurado usando traquita fue eficiente pues sin adicionar agua externa al espécimen sobrepasó la resistencia de diseño en un 9%, pero se obtuvo una resistencia menor a un 23% respecto al curado por inmersión.

F. Salazar Pretell, «Concreto autocurable de alta resistencia $f'c=420$ kg/cm², con un porcentaje de traquita en el agregado grueso comparado con los procesos más usados de curado» Tesis de grado, Cajamarca, 2017. [7]

La autora desarrollo su investigación en torno al curado interno del concreto usando la modalidad de aplicación de agregados livianos con alta absorción de agua, el estudio se llevó a cabo mediante la adición del agregado volcánico Traquita en diversos porcentajes del agregado grueso de manera explorativa, es decir buscando el comportamiento óptimo de la adición, conforme a estos pasos, se realizó el posterior diseño de mezcla para un concreto de alta resistencia $f'c= 420$ kg/cm²; el estudio de la autora también busca destacar la eficiencia de la capacidad autocuradora de este concreto frente a los curados por inmersión, rociado (el más común), y el curado con aditivo; concluyendo de esta manera en la eficiencia absoluta de un curado interno de la mezcla con 7% de traquita frente a los otros métodos evaluados pues debido a sus características no dejan de ser curados externos, se puede destacar también que la resistencia más baja se obtuvo con el uso de aditivo curador, pues este es solo un paliativo de la industria como solución a este problema que amerita tanta responsabilidad en la obra.

M. Mousa, et al., «Mechanical Properties of Self-Curing concrete (SCUC)» Housing and Building National Research Centre HBRC Journal, 2014. [8]

Los autores basan su investigación en la comparación de 2 métodos de curado interno; el método LECA (agregado ligero saturado) y adicionando Poliengligol 400 ambas mezclas con adición de microsilice para obtener alta resistencia. Al observar los ensayos se muestra que el concreto que uso poliengligol como agente de autocurado alcanza valores más altos en las propiedades mecánicas del concreto que la mezcla ejecutada con Leca, en este caso se dice que el uso del polímero es mucho más eficiente pues los porcentajes en peso de cemento son mínimos en comparación con los porcentajes de reemplazo de agregado usados mediante LECA.

R. Parizaca Quispe, «Comportamiento de la trabajabilidad y la resistencia a compresión de un concreto de alta resistencia inicial con adición de polímeros superabsorbentes en la ciudad de Puno,» Tesis de Grado, 2014. [9]

El autor hace una aproximación muy oportuna hacia el tema del uso de los polímeros en el concreto en este caso para aumentar la trabajabilidad y resistencia, así como también al usarlos de manera saturada, comprobar si se realiza un curado interno satisfactorio para lograr un valor mayor a la resistencia de diseño. El polímero usado en esta investigación fue el Poliacrilato de sodio, un material de gran absorción, capaz de retener 5000 veces su peso en agua, es muy usado en la industria de los pañales; este se utilizó debido a que se plantea la hipótesis que al retener gran cantidad de agua, al interior del concreto, estos polímeros irán liberando lentamente el

líquido retenido para poder de esta manera hidratar todas las partículas disponibles de cemento, logrando la máxima eficiencia en el proceso. Luego del análisis de datos, el autor concluye que el uso de esta clase de polímeros es muy satisfactoria en concretos pero siempre y cuando sea en el porcentaje adecuado, en este caso el 0.1% del peso del concreto, pues al exceder este valor, las capacidades se verían afectadas, al punto de observarse segregación en la mezcla. La adición de este polímero en la mezcla logro una buena trabajabilidad, mayor resistencia que la muestra patrón curada por inmersión, y todo esto sin ningún proceso de curado, proyectando un ahorro económico de este proceso en obra.

S. Evangeline, «Self Curing Concrete and Its Inherent properties», International Journal of Engineering Research and Applications, vol IV, Version 7, pp 66-71, 2014. [10]

La autora en su investigación plantea el uso de alcohol polivinílico como agente de autocurado en el concreto teniendo como antecedentes los usos de ácidos poliacrílicos, Polienglicoles y parafinas. Ella plantea comparar la eficiencia del concreto con adición de alcohol polivinílico frente al concreto de curado por inmersión; de esta manera decide dosificar alcohol polivinílico en los porcentaje de 0.03%, 0.06%, 0.12%, 0.24%, 0.48%; obteniendo de esta manera una gran variedad de datos que describirán el comportamiento del concreto, desde la adición mínima de compuesto polivinílico hasta la máxima, observando cómo se comporta la mezcla frente a la variación de cantidad de este polímero. Después de analizar los datos de laboratorio, se concluye que el porcentaje de pérdida de agua a lo largo de la vida de los especímenes es mucho menor con respecto a la del concreto pasado por inmersión durante 7 días, el porcentaje óptimo de adición de alcohol polivinílico fue de 0.48% pues esta adición, logro resistencias a la compresión, tracción y flexión mucho mayores a la del concreto convencional, se pudo observar también que la relación agua cemento afecta el rendimiento del agente curador. Como punto adicional en la investigación también se evaluó la durabilidad de este concreto, en una solución acuosa al 10% de sal, de esta manera luego de 14 días expuesta a este ambiente se realizó el ensayo, el cual obtuvo el mayor valor para la dosificación de 0.48% de alcohol polivinílico confirmando de esta manera la reducción de la permeabilidad y el aumento de durabilidad que aporta el autocurado al concreto con este compuesto.

N.Kholia, et al. «Effect on concrete by Different curing Method and Efficiency of Curing Compounds», International Journal of Advance Engineering Technology, vol IV, April-June 2013. [11]

Los autores basaron su investigación en la eficiencia del autocurado en el concreto contra los métodos tradicionales de curado. Durante su investigación también plantean un pequeño modelo que explica el mecanismo de autocurado con alcoholes solubles en el cual se detalla lo siguiente: “La evaporación continua de la humedad se produce desde una superficie expuesta debido a la

diferencia en los potenciales químicos (energía libre) entre las fases de vapor y líquido. El polímero agregado en la mezcla forma principalmente enlaces de hidrógeno con las moléculas de agua y reduce el potencial químico de estas, lo que a su vez reduce la presión de vapor explicando de esta manera la retención de humedad física que también ocurre. Este fenómeno es el principal encargado de reducir la tasa de evaporación de la superficie”. El hormigón autocurado es la tendencia emergente en la industria de la construcción. Los alcoholes solubles en agua se usan generalmente como agentes de autocurado. Los autores citan a Nagesh pues usaran sus datos para contrastarlos con los suyos, pues Nagesh realizó un estudio experimental para investigar el uso de alcohol polivinílico soluble en agua como agente de curado interno. Luego de realizar los respectivos ensayos Nagesh concluye que las mezclas de concreto que incorporan agentes de autocurado tienen una mayor retención de agua y una mejor hidratación con el tiempo en comparación con el concreto convencional. El uso de 0,48% de alcohol polivinílico en porcentaje del peso del cemento como agente de autocurado proporciona una mayor resistencia a la compresión, a la flexión y a la tracción que la resistencia de la mezcla convencional; también se puede observar que con el aumento en el porcentaje de alcohol polivinílico se reduce la pérdida de peso del hormigón. La eficiencia del concreto autocurado es de 92.5% en comparación con el método convencional de curado, en cambio, utilizando los métodos de curado por membrana se puede lograr el 90% de eficiencia en comparación con el curado convencional.

El-Dieb, «Self-Curing concrete: Water retention, Hydration and Moisture Transport», Construction and Building Materials, Vol 21, pp 1282-1287. 2007. [12]

El autor baso su estudio en la investigación sobre a retención de agua en una mezcla del concreto utilizando Polienglicol 400 soluble en agua como agente de autocurado. Una vez fraguados los especímenes se llevaron a cabo mediciones sobre pérdida de peso y humedad con el fin de evaluar la retención de agua en este concreto “Autopolimerizable”. Se investigó también el efecto de las proporciones de la mezcla de concreto sobre el desempeño del concreto autocurable, como el contenido de cemento y la relación agua / cemento.

H. Reinhardt and S. Weber, «Self-Curing High Performance Concrete» Journal of Materials in Civil Engineering, 1998. [13]

Los autores demostraron que puede realizarse un concreto de alto rendimiento con características autocurables mediante el reemplazo parcial de agregado de peso convencional por agregado de peso ligero previamente saturado, los agregados livianos conducen a un suministro interno de agua para la hidratación continua del cemento. A pesar de la pérdida de agua por evaporación, hay una ganancia de resistencia continua de hasta un 25% más de resistencia después de 1 año en comparación con las pruebas de compresión estándar después de 28 días. El concreto con agregado de peso normal alcanzó una resistencia considerablemente menor en la misma condición

de almacenamiento. La aplicación de dicho concreto en la práctica significa que ningún curado debido a una mala mano de obra dañaría el concreto, es decir, se garantiza la resistencia de diseño y la durabilidad del material sin necesidad de preocuparse por él.

A. Allahverdi, K. Kianpur and M. R. Moghbeli, «Effect of Polyvinyl Alcohol on Flexural Strength and some important Physical Properties of Portland Cement Paste» Iranian Journal of Materials Science & Engineering Vol. 7, Number 1, 2010. [14]

En el presente artículo los autores plantean el uso de alcohol polivinílico en el curado interno del concreto para mejorar la capacidad de resistir esfuerzos de flexión y otras características mecánicas importantes en las pastas de cemento, el estudio se planifico de la siguiente manera: se evaluaron 3 relaciones agua cemento (0.28, 0.30, 0.32) cada una con variaciones en la cantidad de adición de alcohol polivinílico (0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6% del peso del cemento), los resultados observado después de los ensayos de resistencia a la flexión, permeabilidad de poro, absorción de agua, y gravedad específica, concluyendo de esta manera que en relaciones agua-cemento bajas en este caso de 0.28 el alcohol polivinílico no ayuda a las propiedades físicas, esto debido a que la baja cantidad de agua no logra una hidrolisis en el polímero o lo logra su dispersión completa a lo largo de la mezcla de concreto, los resultados cambian cuando la relación aumenta a 0.30 pues se observó una mejora significativa en la resistencia a flexión especialmente en relaciones alrededor del 1.6% del peso del cemento en las cuales se alcanzó hasta 2 veces el valor convencional; para relaciones de agua cemento 0.32, las concentraciones de polímero en peso de cemento optimas son similares a la anterior, si bien es cierto se observa mejoría no es totalmente decisiva.

En torno a los demás estudios como permeabilidad y gravedad específica, se observó que el alcohol polivinilo mientras en más concentración es adicionado más mantiene a lo largo del tiempo el peso específico de la masa, ya que retiene la humedad y evita que esta se evapore repentinamente, en el ensayo de permeabilidad íntimamente relacionado con la absorción de agua se puede observar que mientras más adición de polímero allá en el mezcla el % en volumen de poros que determina la permeabilidad es menor.

Vaseem Akram.N, Balachandiran P., « Experimental study of self-curing concrete by using Polyvinyl Alchohol» Iranian Journal of Materials Science & Engineering Research Volume 9, Number 3, 2018. [15]

En el presente estudio los autores hacen un estudio experimental para determinar como funcionaria el mecanismo de autocurado en el concreto con adición de alcohol polivinílico en los porcentajes de 0.5, 1, 1.5 y 2 del peso del cemento; mediante ensayos de compresión simple y tensión diametral mediante especímenes de concreto, encontrándose que para porcentajes

mayores al 2% de alcohol polivinílico se tienen efectos perjudiciales en las propiedades del concreto, definiéndose que la dosificación óptima de alcohol polivinílico es del 1.5% en peso del cemento, ya que esta obtuvo valores incluso mayores de resistencias en comparación con una probeta dentro de inmersión en un laboratorio, destacándose que el espécimen de alcohol polivinílico presenta valores sin mayor variación si es curado en cualquier lugar fuera del laboratorio, demostrándose de esta manera su total funcionalidad y eficiencia frente a métodos tradicionales de curado.

Waleed A. Abbas, Ikbal N. Gorgis and Mahdi J. Hussien, «Self-curing cement mortar composite by using poly vinyl alcohol» Kufa Journal of Engineering Vol. 10, No. 4, 2019, P.P. 16-28. [16]

Los autores de este proyecto buscan demostrar la eficacia del alcohol polivinílico como agente de autocurado, se planteó usar una cantidad del polímero equivalente al 1% del peso de cemento para evaluar resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y la modificación química de la muestra debido a la adición para un curado de manera tradicional y para condiciones de curado interno. Al obtener los resultados a los 21 días de realizado el estudio se determinó que la mezcla con adición de alcohol polivinílico obtuvieron los valores más altos en la resistencia a flexión y compresión, pero de estas 2 mezclas la que mejor desempeño tuvo fue la mezcla en la que se realizó el curado tipo interno, pues se obtuvieron valores un tanto mayores a los que pudo obtener la misma mezcla pero realizándosele un curado por inmersión, de esta manera se comprueba su uso desenvolvimiento predispuesto para estas solicitaciones, al momento de evaluar la modificación química se pudo observar que no hubo ninguna variación microscópica en las particular que componen el cemento ni en la reacción química de este, se pudo determinar mediante imágenes microscópicas con un aumento de 200x, el concreto tradicional presenta nano fisuras en su área, caso contrario del adicionado con alcohol polivinílico en el cual se encontró al material intacto y bien distribuido, de esta manera se concluye en la utilización exitosa de este material en las mezclas de concreto.

B. Ajitha, Ghantasala Nirupama, « Evaluation of Properties of Self-curing concrete by using Polyvinyl Alcohol» International Conference on Academic Research in Engineering and Management. 2017. [17]

Los autores mediante la siguiente investigación se plantean el uso de alcohol polivinílico en porcentajes menores al 0.5% del peso del cemento, pues como se observó en todos los estudios anteriores, este no es un umbral tan conocido del comportamiento de este polímero, las mezclas se realizaron en concentraciones de 0.03%, 0.06%, 0.12%, 0.24% del peso del cemento para evaluar la resistencia a la flexión y a la tracción diametral en el concreto, luego de observar los resultados de los ensayos se pudo determinar que la resistencia a la flexión y tracción aumento

cuando el porcentaje de alcohol polivinílico aumentaba en la mezcla obteniéndose una óptima dosificación en 0.24% de alcohol polivinílico, también se pudo observar que la trabajabilidad del concreto mejoraba mientras el porcentaje del polímero aumentaba, dando un adicional de beneficio al uso de este Alcohol soluble en el concreto.

T. A Sajana Khader, T.S Shabana, «Experimental Investigation on the Mechanical Properties of Self Curing Concrete Using Sodium Lignosulphonate and Polyvinyl Alcohol» International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. Volumen 7, Núm. 3. 2018. [18]

En la investigación consultada de mano de estos autores, se busca descubrir experimentalmente las propiedades del alcohol polivinílico sumado al Lignosulfato de sodio en el autocurado de concreto, este estudio comprobaba su hipótesis bajo la realización de tres ensayos de laboratorio, la resistencia a la flexión, la resistencia a la compresión, y la resistencia a la tracción dividida en el concreto; el polímero y el químico se adicionarán por separado y juntos, obedeciendo las siguientes dosificaciones : en el caso del alcohol polivinílico (0.24%, 0.48%, 0.96%), y en el caso del lignosulfato (0.5%, 1%, 1.5%, 2%), estas dosificaciones se combinarán en contenidos óptimos de ambas sustancias para observar cual es el comportamiento. Luego de los ensayos se pudo observar que el concreto adicionado con los materiales estipulados logra una resistencia mucho mayor a la del concreto sin ningún agregado y con un curado por inmersión, a mayor concentración de los agentes autopolimerizables, las propiedades mecánicas empeoran; La mezcla P0.48 S1 con 0.48% de alcohol polivinílico y 1% de lignosulfonato de sodio proporciona la máxima resistencia a la compresión en comparación con todas las demás mezclas. En comparación con la mezcla normal, el hormigón autopolimerizable es 23.94% más alta la resistencia a la compresión.

Aman Kushwaha, Satish Parihar, «Self-Curing by using of Super Absorbent Polymer and Shrinkage Reducing Admixture for M-40» IJSTE - International Journal of Science Technology & Engineering. Volumen 4, Núm. 11. 2018. [19]

En la presente investigación se busca determinar el comportamiento híbrido de dos agentes de autocurado, el alcohol polivinílico y el polienglicol 400, este último un muy afanado polímero con uso muy extenso en los aditivos químicos para el concreto; para comprobar la hipótesis los autores plantean la ejecución de ensayos de compresión para las siguientes dosificaciones: polienglicol 400-0.5%; 1%; 1.5%, 2%; alcohol polivinílico – 0.12%, 0.24%, 0.48%; y una combinación de PEG 400 y PVA de 0.5% y 0.24% respectivamente obteniéndose de esta manera

la dosificación óptima solo para PEG400 fue del 0.5%; así como también el contenido óptimo de PVA es de 0.24% del peso del cemento pues obtuvo mayores resistencias al final del proceso, el concreto convencional tiene mayores resistencias tempranas, pero a los 28 días estas son superadas totalmente por la mezcla con 0.24% PVA y 0.5% PEG400.

2.2 Bases teórico - científicas

2.2.1 Concreto

El concreto es el material constituido por la mezcla en ciertas proporciones de cemento, agua, agregados y opcionalmente aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, y que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes, lo que lo hace un material ideal para la construcción. [20].

2.2.2 Componentes del concreto

2.2.2.1. Cemento:

Se define como cemento a los materiales pulverizados que poseen la propiedad que, por adición de una cantidad conveniente de agua, forman una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables. Quedan excluidas de esta definición las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos. [21]

Tipos de cemento

Cemento tipo I

De uso general, se puede emplear para fines estructurales, siempre que no se requieran las características de los otros cementos.

Cemento tipo II

Se utiliza cuando se espera un ataque moderado de los sulfatos o cuando se requiere un calor de hidratación moderado, para lograr este tipo de características se regulan la cantidad máxima de silicato tricálcico y aluminato tricálcico, este cemento alcanza una resistencia similar al cemento tipo uno, pero requiere más tiempo de fraguado.

Cemento tipo III

Este desarrolla una alta resistencia en un tiempo menor, en 7 días tiene la misma resistencia que un concreto tipo I o II en 28 días.

Para lograr este rápido fraguado se aumentan las cantidades de silicato tricálcico y Aluminato tricálcico. Este cemento desprende grandes cantidades de calor por lo que no es recomendado para construcciones masivas.

Cemento tipo IV

Este es un cemento de secado lento por lo que no genera gran cantidad de calor de hidratación siendo ideal para construcciones masivas que no requieran una alta resistencia inicial, para lograr esto se regulan las cantidades de aluminato tricálcico y silicato tricálcico, ya que estos son los elementos que se encargan del fraguado inicial por lo que liberan la mayor cantidad de calor de hidratación.

Cemento tipo V

Este es un cemento con gran resistencia al ataque de sulfatos, por lo que es muy utilizado en estructuras hidráulicas expuestas a aguas con gran concentración de álcalis o estructuras expuestas a agua de mar. Para lograr esto se reduce la cantidad de aluminato tricálcico la cual no debe exceder el 5% ya que este es el componente más vulnerable a los sulfatos. [2].

2.2.2.2 Agregados

Se refiere a los materiales de origen natural o artificial que mezclados con cemento, agua y aditivos, conforman la roca artificial denominada “concreto” u “hormigón”.

Dado que tres cuartas partes del volumen de concreto son ocupados por los agregados la calidad de estos es de gran importancia. El agregado debe estar constituido por partículas limpias, duras, resistentes y durables, que a su vez desarrollen buena adherencia con la pasta de cemento. Las arcillas adheridas a los agregados y otras impurezas interfieren con el desarrollo de resistencias del concreto. Las propiedades de los agregados dependen en gran parte de la calidad de la roca madre de la cual proceden [22].

Influencia de los agregados:

-La distribución granulométrica juega un papel importante en la resistencia del concreto, ya que si esta es continua permite la máxima capacidad del concreto en estado fresco y una mayor densidad en estado endurecido, lo que se traduce en una mayor resistencia.

-La forma y textura de los agregados también influyen. Agregados de forma cúbica y rugosa permiten mayor adherencia de la interface matriz-agregado respecto de los agregados redondeados y lisos, aumentando la resistencia del concreto.

-La resistencia y rigidez de las partículas del agregado también influyen en la resistencia del concreto.

-De acuerdo con la norma es necesario determinar la granulometría de las muestras, se lleva a cabo el procedimiento y la muestra pasa por la malla de tamices que se encuentran estipuladas en la norma ASTM C -136, ASTM C-33.

-Luego de tamizar las muestras, se separa el material retenido en cada tamiz y se pesa, estos resultados se tabulan y se realiza una curva de granulometría por tamizado. La granulometría que al ser continua permite la máxima compacidad del concreto en estado fresco y por lo tanto la máxima densidad en estado endurecido con la consecuente máxima resistencia. [23]

2.2.2.3. Agua

El agua es un integrante fundamental en las mezclas de concreto y mortero, pues al ser mezclado con el cemento reacciona químicamente con este para producir la parte sólida y desarrollar resistencia. [24]

Según Pasquel el agua tiene 3 funciones principales:

- I. Reaccionar con el cemento para hidratarlo.
- II. Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto.
- III. Procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse.

2.2.2.4 Aditivos

Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto que, además del cemento portland, del agua y de los agregados, se adicionan a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado. Los aditivos se pueden clasificar según sus funciones, [2] como sigue:

1. Aditivos incorporadores de aire (inclusores de aire)
2. Aditivos reductores de agua
3. Plastificantes (fluidificantes)
4. Aditivos aceleradores (acelerantes)
5. Aditivos retardadores (retardantes)
6. Aditivos de control de la hidratación
7. Inhibidores de corrosión
8. Reductores de retracción
9. Inhibidores de reacción álcali-agregado

10. Aditivos colorantes

11. Aditivos diversos, tales como aditivos para mejorar la trabajabilidad (manejabilidad), para mejorar la adherencia, a prueba de humedad, impermeabilizantes, para lechadas, formadores de gas, anti-deslave, espumante y auxiliares de bombeo.

En el caso de los aditivos de control de hidratación podemos encontrar los formadores de membrana para el control del curado los cuales, están hechos a base de compuestos líquidos de parafinas, resinas, hules (gomas) coloradas y otros materiales, su uso radica en impedir o reducir la evaporación de la humedad del concreto. En países desarrollados, es el método más práctico y más ampliamente utilizado para el curado no sólo de concretos recién colocados, sino también para prolongar el curado hasta después de la remoción de la cimbra (encofrado) o después del curado húmedo inicial. Sin embargo, los métodos más eficientes de curado son las cubiertas húmedas o el rociado de agua, los cuales mantienen el concreto continuamente mojado. Los compuestos de curado deben ser capaces de conservar la humedad relativa de la superficie del concreto superior a los 80% por siete días, para sostener la hidratación del cemento.

2.2.3 Propiedades del concreto

2.2.3.1 Propiedades del concreto fresco

Trabajabilidad

Se entiende por trabajabilidad a aquella propiedad del concreto en estado fresco la cual determina la capacidad para ser manipulado, transportado, colocado y consolidado adecuadamente con un mínimo de trabajo y máxima homogeneidad, así como la característica de poder ser acabado sin experimentar segregación en la mezcla. [25]

El método tradicional de medir la trabajabilidad ha sido desde hace muchos años el "Slump" o asentamiento con el cono de Abrams, ya que permite una aproximación numérica a esta propiedad del concreto, sin embargo debe tenerse clara la idea que es más una prueba de uniformidad que de trabajabilidad, pues es fácilmente demostrable que se pueden obtener concretos con igual slump pero trabajabilidades notablemente diferentes para las mismas condiciones de trabajo. [20].

Según Steven Kosmatka, las propiedades relacionadas con la trabajabilidad incluyen consistencia, segregación, movilidad, bombeabilidad, sangrado (exudación) y facilidad de acabado. La consistencia es considerada una buena indicación de trabajabilidad. El asentamiento en cono de Abrams se usa como medida de la consistencia y de la humedad del concreto. Un concreto de bajo revenimiento (slump) tiene una consistencia rígida o seca. Si la consistencia es muy seca y rígida, la colocación y compactación del concreto serán difíciles y las partículas más grandes de

agregados pueden separarse de la mezcla. Sin embargo, no debe suponerse que una mezcla más húmeda y fluida es más trabajable. Si la mezcla es muy húmeda, pueden ocurrir segregación y formación de huecos. La consistencia debe ser lo más seca posible para que aún se permita la colocación empleándose los equipos de consolidación disponibles.

Sangrado y asentamiento

La exudación es el desarrollo de una camada de agua en el tope o en la superficie del concreto recién colocado. Es causada por la sedimentación (asentamiento) de las partículas sólidas (cemento y agregados) y simultáneamente la subida del agua hacia la superficie. El sangrado es normal y no debería disminuir la calidad del concreto adecuadamente colocado, acabado y curado. Un poco de sangrado es útil en el control de la fisuración por retracción plástica. Por otro lado, la excesiva aumenta la relación agua-cemento cerca de la superficie; puede ocurrir una camada superficial débil y con poca durabilidad, particularmente si se hace el acabado cuando el agua de sangrado aún está presente. Los vacíos y bolsas de agua pueden ocurrir, resultantes del acabado prematuro de la superficie. [2].

Consolidación

La consolidación del concreto se basa en la vibración, la cual mueve las partículas del concreto recién mezclado, reduciendo el rozamiento (fricción) entre ellas y además de aportar movilidad de un fluido denso. La acción vibratoria permite el uso de mezclas más rígidas con mayores proporciones de agregado grueso y menores proporciones de agregados finos. Si el agregado es bien graduado, cuanto mayor es su tamaño máximo, menor es el volumen para llenarse por la pasta y menor es el área superficial para ser cubierta por la pasta, así menos agua y cemento son necesarios. El concreto con la granulometría óptima del agregado siempre es más fácil de consolidarse y colocarse. Por otro lado, la mala consolidación puede resultar en un concreto poroso y débil con poca durabilidad.



Imagen 01. Consolidación pobre en el concreto, la cual puede desencadenar en baja resistencia.

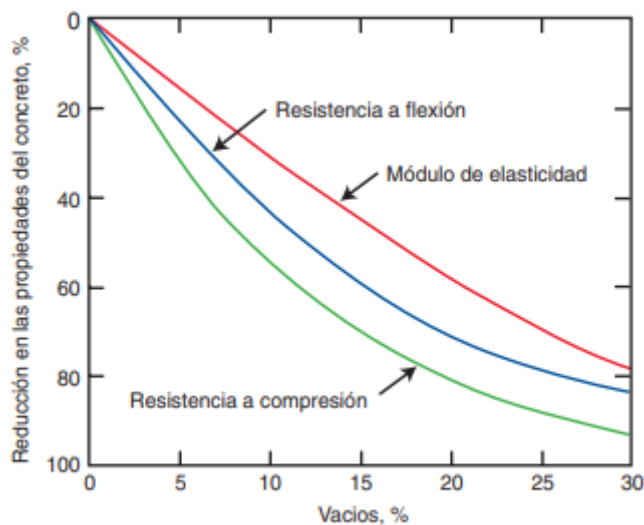


Imagen 02. Efecto de los vacíos, resultantes de la carencia de consolidación, sobre el módulo de elasticidad, resistencia a compresión y flexión del concreto. [2]

Hidratación, tiempo de fraguado y endurecimiento

La calidad de unión (adhesión) de la pasta de cemento portland se debe a las reacciones químicas entre el cemento y el agua, conocidas como hidratación. El cemento portland no es un compuesto químico sencillo, es una mezcla de muchos compuestos. Cuatro de ellos totalizan 90% o más del peso del cemento portland: silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y ferroaluminato tetracálcico (aluminio ferrito tetracálcico). Además de estos compuestos principales, muchos otros desempeñan un papel importante en el proceso de hidratación. Cada tipo de cemento portland contiene los mismos cuatro compuestos principales, pero en proporciones diferentes.

Mientras el concreto se endurece, su volumen bruto permanece casi inalterado, pero el concreto endurecido contiene poros llenos de agua y aire, los cuales no tienen resistencia. La resistencia está en las partes sólidas de la pasta, sobre todo en el silicato de calcio hidratado y en los compuestos cristalinos. Cuanto menos porosa es la pasta de cemento, más resistente es el concreto. Por lo tanto, al mezclarse el concreto, no se debe usar más agua que aquella estrictamente necesaria para obtenerse un concreto plástico y trabajable según el diseño de mezclas. Incluso, la cantidad de agua usada es normalmente mayor que la necesaria para la hidratación completa del cemento [2]. Aproximadamente se necesitan 0.4 gramos de agua por gramo de cemento para la hidratación completa del cemento [26]. Sin embargo, en concreto de

obras civiles nunca suelen darse estas condiciones, debido a una falta de humedad (curado) y al largo periodo de tiempo (décadas) que se requiere para obtener la hidratación total.

El conocimiento de la velocidad de reacción entre el cemento y el agua es importante porque determina el tiempo de fraguado y endurecimiento. La reacción inicial debe ser suficientemente lenta para que haya tiempo para transportar y colocar el concreto. Una vez que el concreto ha sido colocado y acabado, es deseable un endurecimiento rápido. Cuando el Clinker está en proceso de molienda se le acostumbra añadir yeso pues este actuará como un regulador del fraguado inicial del cemento portland. La finura del cemento, aditivos, cantidad de agua adicionada y temperatura de los materiales en el momento de la mezcla son otros factores que influyen la tasa de hidratación. [2].

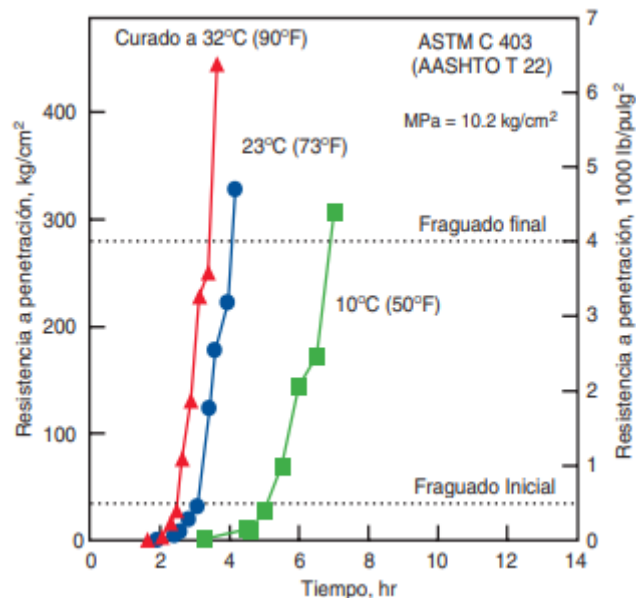


Imagen 3. Tiempo de inicio y fin de fraguado para una mezcla de concreto en diferentes temperaturas. [27].

2.2.3.2 Propiedades del concreto endurecido

Elasticidad

La elasticidad de un concreto está representada por el módulo de elasticidad expresado en MPa o Kg/cm², el cual se define como el esfuerzo máximo que soporta el concreto antes de experimentar deformaciones permanentes. Los valores más comunes de Modulo de elasticidad en el concreto oscilan entre 250,000 a 350,000 Kg/cm² y tienen relación directa con la resistencia en compresión del concreto (f_c) y en relación inversa con la relación agua/cemento. Conceptualmente, las mezclas más ricas en cemento tienen módulos de Elasticidad mayores y mayor capacidad de deformación que las mezclas pobres.

Resistencia

La resistencia en el concreto está definida como el máximo esfuerzo que puede soportar un área de este material sin romperse. Dado que el concreto es un material sumamente rígido con unas características compresivas muy buenas, este es el esfuerzo por el cual es diseñado y por ende el más importante a tomar como índice de calidad.

Un factor indirecto pero no por eso menos importante en la resistencia, lo constituye el curado ya que es el complemento del proceso de hidratación sin el cual es imposible llegar a desarrollar completamente las características resistentes del concreto. Los concretos normales usualmente tienen resistencias en compresión del orden de 100 a 400 Kg/cm². Tecnologías con empleo de los llamados polímeros (Pva, polienglicol, poliacrilatos), constituidos por aglomerantes sintéticos que se añaden a la mezcla, permiten obtener resistencias en compresión que bordean los 1,500 kg/cm² adicionando a esta una serie de características muy curiosas en el estudio de las mezclas, todo parece indicar que el desarrollo de estas técnicas permitirá en el futuro superar incluso estos niveles de resistencia y algunas barreras por las cuales se limita al concreto. [20]

Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/Cm²) a una edad de 28 días. Como mencionamos anteriormente esta capacidad es un índice importante en la calidad del concreto.

El ensayo con el cual se mide la resistencia a la compresión del concreto, está establecido en la norma ASTM C39/ NTP 339.034; se detalla los procedimientos a continuación:

-Se emplean moldes cilíndricos de 15 cm de diámetro por 30 cm de longitud. Para cada edad se deben ensayar como mínimo 2 cilindros y trabajar con el valor promedio. Se deben aceitar las paredes del molde; al llenar éste se debe lograr una buena compactación, la cual puede realizarse con varilla (método apisonado).

-Los cilindros se llenan con hormigón en capas de igual volumen aproximadamente, el número de capas depende del método de compactación escogido.

-En el método apisonado cada capa debe compactarse con 25 golpes, los cuales deben distribuirse uniformemente en toda la sección transversal del molde.

-Los cilindros deben referenciarse. Los moldes con el concreto, se deben colocar durante las primeras 16 horas como mínimo y máximo 24 horas, sobre una superficie rígida, libre de

vibración u otras perturbaciones. Los cilindros se deben almacenar en condiciones tales que se mantenga la temperatura entre 16 °C y 27 °C y se prevenga la pérdida de humedad de los mismos.

-Los cilindros deben ensayarse tan pronto como sea posible respetando una tolerancia máxima detallado en la tabla 1; se llevan a la máquina de ensayo y se aplica carga a una velocidad constante (1,4 a 3,5 kg/cm²/s) hasta que el cilindro falle. [25]

EDAD	TOLERANCIA PERMISIBLE DE TIEMPO DE ENSAYO
24 horas	± 0.5 horas ó 2.1 %
3 días	2 horas ó 2.8 %
7 días	6 horas ó 3.6 %
28 días	20 horas ó 3.0 %
90 días	2 dias ó 2.2 %

Tabla 1: Tolerancia permisible de tiempo de ensayo según la edad de los especímenes. [28]

Resistencia a la Flexión

La resistencia a la flexión de un concreto es baja en comparación con su resistencia a la compresión, sin embargo esta cumple un especial papel en el diseño de algunas estructuras.

Este parámetro es aplicado en estructuras tales como pavimentos rígidos; debido a que los esfuerzos de compresión que resultan en la superficie de contacto entre las llantas de un vehículo y el pavimento son aproximadamente iguales a la presión de inflado de las mismas, la cual en el peor de los casos puede llegar a ser de 5 o 6 kg/cm²; este esfuerzo de compresión sobre un pavimento de concreto hidráulico resulta sumamente bajo con relación a la resistencia a la compresión del concreto que normalmente varía entre 150 y 350 kg/cm² en nuestro medio. En los pavimentos la preocupación real radica en las tensiones y compresiones que experimentara la losa a lo largo de su área, siendo estos esfuerzo rotativos de un momento a otro, este problema podría verse solucionado con la adición de refuerzo de doble malla a lo largo de la losa, sin embargo, esta solución es exorbitantemente costosa, entendido este aspecto, se sostiene que el espesor de la losa en el pavimento debe de diseñarse para que los esfuerzos de flexión que genera el paso de vehículos y la diferencia de temperatura sean menores a la capacidad máxima de flexión de la placa. Es claro entonces que para el diseño de pavimentos de concreto la característica importante es la resistencia a la flexión del concreto también llamada "módulo de rotura".

Extensibilidad

Es la propiedad del concreto de deformarse sin agrietarse. Se define en función de la deformación unitaria máxima que puede asumir el concreto sin que ocurran fisuraciones. Depende de la elasticidad y del denominado flujo plástico, constituido por la deformación que tiene el concreto bajo carga constante en el tiempo. En un concreto convencional se puede afirmar que la

microfisuración aparece normalmente alrededor del 60% del esfuerzo último, y a una deformación unitaria de 0.0012, y la fisuración visible aparece para 0.003 de deformación unitaria. [20].

2.2.4 Factores que afectan a la resistencia del concreto

2.2.4.1 Tipo de cemento

La resistencia que puede producir un determinado cemento depende fundamentalmente de su composición química; por ejemplo, con un cemento con alto contenido de C₃S se obtendrán buenas resistencias y en un tiempo relativamente corto, acompañadas por un desprendimiento de calor relativamente alto durante el endurecimiento, en tanto que un cemento rico en C₂S producirá altas resistencias pero en un tiempo relativamente largo, con un moderado calor de hidratación, lo cual conlleva a una mejor resistencia a los ataques químicos. [29]

2.2.4.2 Tipos de agregados

Los concretos que tengan agregados angulosos o rugosos son generalmente más resistentes que otros de igual relación agua / cemento que tengan agregados redondeados o lisos; sin embargo, para igual contenido de cemento, los primeros exigen más agua para no variar la manejabilidad y por lo tanto el efecto en la resistencia no varía apreciablemente [29], así como también deben evitarse los agregados propensos a realizar una reacción álcali-sílice con el cemento a lo largo del tiempo.

2.2.4.3 Tipo de agua de mezcla

El agua impotable no debe utilizarse en el concreto a menos que se cumplan las siguientes condiciones:

- La dosificación debe estar basada en mezclas de concreto que utilice agua de la misma fuente.
- Los cubos para ensayos de morteros hechos con agua impotable de mezcla, deben tener una resistencia a la compresión a los 7 y 28 días de edad, igual o mayor al 90% de la resistencia a la compresión de probetas similares hechas con agua potable.

El agua con una salinidad de 3,5% produce una reducción de resistencia a los 28 días del 12%, aumentando la salinidad a 5% la reducción de resistencia es del orden del 30%. La presencia de sales produce oxidación del refuerzo, por lo tanto, no debe usarse agua salada en concreto reforzado y preesforzado. [29].

2.2.4.4 Relación agua/cemento (a/c)

La relación agua-cemento en el concreto es uno de los parámetros más importante, pues es el pilar de designación de calidad del material, es una función indirecta de la resistencia, durabilidad y requisitos de acabado del mismo. Se define como la relación entre el peso del agua y el cemento, mientras menor sea el concreto tendrá mayor resistencia, pero también menor trabajabilidad.

f'cr (28 días)	RELACION AGUA-CEMENTO DE DISEÑO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.55
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	----
450	0.38	----

Tabla 2: Resistencia a la compresión del concreto para cada relación a/c. [25].

2.2.4.5 Curado del concreto

El curado del concreto es el proceso, tal vez, más importante en cuanto a control de obra, ya que se trata de controlar y mantener un contenido de humedad suficiente y una temperatura favorable en el concreto durante la hidratación de los materiales cementantes, para que puedan desarrollarse las propiedades para las cuales fue diseñada la mezcla. El curado no sólo influye en la resistencia final del concreto, pues también se ve afectada la durabilidad del hormigón, es decir, en qué estado se encontrará el hormigón dentro de unos años. Esto es debido a que se incrementa la porosidad de las capas superficiales, ya que el agua que se evapora deja su espacio al aire, quedando poros que a largo plazo favorecen la entrada de ambiente exterior y por lo tanto se da la degradación prematura del hormigón. [30]

2.2.2.5 El curado en el concreto

El curado del concreto consiste en mantener la humedad de la mezcla para evitar que se evapore el agua que se necesita para mantener la proporción de agua y cemento, para que de esta manera sea posible la reacción química de endurecimiento.

Esto lo podemos conseguir de varias maneras, o bien humedeciendo la superficie de manera periódica para que sea el agua aportada la que se evapore y no la de la mezcla o bien poniendo barreras para evitar que el agua evaporada salga de la mezcla, ayudándole al concreto a conservar la humedad propia. Evidentemente no solo es necesario hacer el curado de grandes superficies

como son las losas, sino que también para otros elementos de concreto como por ejemplo las columnas y vigas. [30]

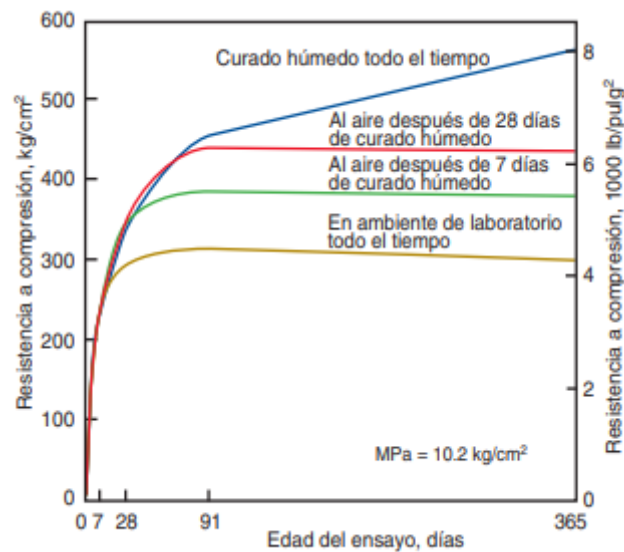


Imagen 4. Variación de la Resistencia a la compresión del concreto en función de la edad y el tipo de curado. [31]

2.2.2.5.1 Tipos de curado

Riego periódico

Es el más comúnmente utilizado por su sencillez y economía, aunque tienen el riesgo pues tiene que ser aplicado varias veces durante la jornada y además no es posible ejecutarlo si no se está trabajando. Es un método de aporte de agua que consiste en regar las superficies hormigonadas con mangueras para que la evaporación se produzca sobre el agua que se aporta, no sobre el agua de amasado que necesitamos para el endurecimiento. Hay que tener cuidado de no empezar el riego demasiado pronto y de no hacerlo con demasiada presión, pues puede producirse el lavado de las capas superficiales. [30]



Imagen 5. Curado periódico mediante riego, se observa la dificultad de aplicación para elementos verticales.

Mediante costales, carpetas de algodón y alfombras

También es un método por el que se aporta humedad adicional a la de amasado, solo que en este caso lo que se humedece son telas (arpillera, sacos de tela, esteras de algodón) que mantienen la humedad durante mucho más tiempo que un simple regado. Posee un grado de dificultad en su aplicación en pero para las columnas es perfecto, pues se envuelven con las telas sin impedir ninguna labor en la obra. La complicación con este método es que hay tener la precaución de mantener siempre húmedas las telas que se utilicen, pues si se secan producen el efecto contrario del deseado, pues absorberán el agua de la superficie del hormigón, que es precisamente lo que queremos evitar.



Imagen 6. Curado de columnas mediante lonas húmedas, amortigua la responsabilidad de riego periódico.

Aplicación de película plástica

Los métodos que no requieren de aporte de agua a la superficie son los que evitan que el agua de amasado escape de la masa del hormigón debido a la evaporación. Esto se consigue colocando láminas plásticas que evitan que el agua, aunque se evapore, escape de la superficie del hormigón, consiguiendo que éste mantenga el grado de humedad que necesita para endurecer. Se pueden usar láminas de polietileno o cualquier otro elemento que impermeabilice la salida del agua.



Imagen 7. Curado mediante membrana de polietileno, al ser un material impermeable no permite el escape de agua mezcla por evaporación en el concreto.

Aditivos formadores de membrana

Es un método similar al anterior, pues su función principal es la de evitar el desecado de la superficie impidiendo la salida del agua de amasado, pero en este caso se consigue mediante el rociado de compuestos que penetran en los poros del hormigón creando una película superficial impermeable al vapor de agua. La aplicación de estos compuestos debe hacerse cuando la superficie del hormigón todavía está muy húmeda, prácticamente saturada, ya que hay que evitar que los líquidos sean absorbidos y acaben en las capas internas del hormigón. Algunos estudios realizados a especímenes de concreto indican que no es un método tan eficiente y viable pues según Pretell y Olivera, los especímenes evaluados solo alcanzan el 85% de la resistencia de diseño, en la actualidad es muy usado por su practicidad.



Imagen 8. Aplicación del aditivo curador por aspersión, uno de los rendimientos más comunes es de 1 litro cada 5m².

Curado por inmersión

El curado por inmersión es un método en el que las superficies planas de concreto, como losas y pavimentos, se curan mediante la acumulación de agua alrededor del perímetro de la superficie con la ayuda de diques de arena. Es un método que da buenos resultados pero es muy ineficiente, pues si bien mantiene una temperatura uniforme en el hormigón y también evita la pérdida de humedad del hormigón, esto se da al costo de cientos de litros de agua que se desperdician y el paro de las actividades de obra sobre las superficie a curar durante los 7 días reglamentarios. [32].



Imagen 9. Curado por inundación en una losa ayudado por diques de arena, método muy poco amigable con el medio ambiente.

2.2.2.5.2 CURADO INTERNO DEL CONCRETO

Según el Código ACI-308 establece que "el curado interno es el proceso por el cual ocurre la hidratación del cemento debido a la disponibilidad de agua interna adicional que no es parte del agua de mezcla". Convencionalmente, curar un concreto significa crear condiciones tales que el agua no se pierda de la superficie del elemento, es decir, el curado comúnmente se lleva a cabo "desde afuera hacia adentro". Por el contrario, el "curado interno" permite el curado desde "adentro hacia el afuera" esto es posible a través de los depósitos internos que agregados ligeros saturados o polímeros superabsorbentes crean. El "curado interno" a menudo también se conoce como "autocurado". Este proceso inhibe la pérdida de humedad, y por lo tanto mejoran la resistencia a largo plazo y reducen la contracción por secado. Se han utilizado en revestimientos de túneles y minas subterráneas para proporcionar un curado al menos parcial cuando los métodos tradicionales son difíciles o incluso imposibles de emplear. Los compuestos de curado interno son tecnología que aún no se popularizan y se debe tener cuidado cuando se utilizan.

Filosofía del curado interno

Modelo de Powers (1947)

Powers desarrolló un simple grupo de ecuaciones empíricas para modelar las diferentes fases presentes en un sistema que contiene cemento portland y agua. En su modelo Powers define 5 entidades: (a) cemento sin hidratar, (b) agua, (c) productos de hidratación, (d) porosidad de los productos de hidratación y (e) porosidad capilar. El volumen ocupado por cada una de estas fases depende del grado de hidratación del cemento. Por ejemplo para un grado de hidratación igual a cero, hay solamente cemento y agua, y su volumen está dado por el volumen de cada uno de ellos adicionado originalmente. Para un grado de hidratación completo (100 %), el volumen de cemento es cero, y el volumen de productos de hidratación es aproximadamente 0.68 cm³ por gramo de cemento originalmente adicionado y el volumen de porosidad (en los productos de hidratación y capilares) está dado por la razón agua – cemento (W/C). Dicha razón determina el espaciamiento inicial entre las partículas de cemento y por lo tanto el espaciamiento dentro de la pasta de cemento (porosidad) después de que el cemento se ha hidratado. La formación de los silicatos de calcio hidratados y del hidróxido de calcio puede llevarse a cabo sólo si se reúnen dos requisitos: (a) si hay suficiente espacio para que los productos de hidratación se formen y (b) si hay suficiente agua para ser usada durante la hidratación (Mindess et al., 2003). El espacio disponible para los productos de hidratación disminuye a medida que la hidratación progresa, en este sentido se puede alcanzar cierto punto donde el espacio no es suficiente para continuar la hidratación. Utilizando las ecuaciones propuestas por Powers, se puede demostrar que esto ocurre para W/C bajo 0.36.

Como consecuencia, en sistemas bajo ese límite no ocurrirá hidratación completa, incluso entregando agua externamente. Cuando la W/C está ligeramente sobre 0.36, si bien se tiene espacio suficiente para los productos de hidratación, no se cuenta con el agua suficiente para hidratarlos. En un sistema cerrado en el que no se pierde agua al ambiente ni se recibe agua desde el ambiente, la W/C debe ser mayor a 0.42 para poder alcanzar una hidratación del 100 % (Mindess et al., 2003). Basado en lo anterior cualquier sistema con W/C entre 0.36 y 0.42 requiere de agua adicional para alcanzar el 100 % de hidratación. De la misma manera, mezclas con W/C menores a 0.36 requieren del suministro de agua externa para alcanzar el máximo grado de hidratación que no será 100 % por no contar con el espacio suficiente. Todo lo anterior se concluye asumiendo que no hay pérdidas de agua por evaporación al ambiente. En realidad puede haber pérdidas importantes al ambiente debido a diferencias en temperatura, viento, diferencias en humedad relativa, y radiación solar [33]. Tomando en cuenta dichas pérdidas, se requiere suplir aún una mayor cantidad de agua para alcanzar el máximo grado de hidratación. Si bien las ecuaciones desarrolladas en el modelo de Powers se aplican sólo a sistemas de cemento portland y agua, las conclusiones respecto a la necesidad de agua de curado pueden ser extendidas a sistemas más complejos. [26].

Independiente del método utilizado para almacenar agua dentro del concreto, el mecanismo de liberación de ella es básicamente el mismo. Weber y Reinhardt (1997) explicaron que a medida que la hidratación del cemento procede, un sistema de porosidad capilar se forma en la pasta de cemento. El radio de estos poros y la humedad relativa al interior de ellos disminuyen a medida que más productos de hidratación se forman, llegando un cierto punto en que estos poros son capaces de absorber agua de la fuente de almacenamiento por acción capilar. A medida que más hidratación ocurre y los poros se hacen más finos dicha fuerza capilar aumenta siendo capaz de succionar más agua de la fuente. Este proceso se detiene cuando el agua de la fuente se ha agotado o cuando la totalidad del cemento se ha hidratado o si la permeabilidad de la pasta es muy baja y no permite el transporte de agua.

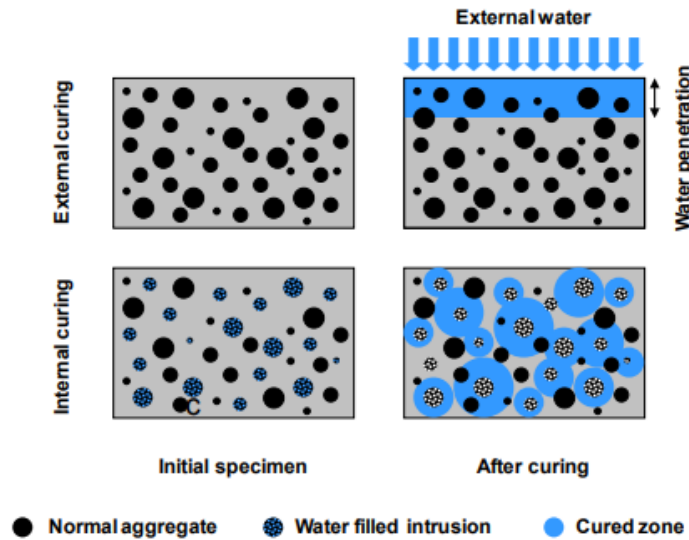


Imagen 9. Ilustración principal sobre las diferencias entre un curado tradicional y un curado interno o autocurado. [34]

Mecanismo del curado interno

Es importante conocer el mecanismo detrás del proceso de curado interno. En el concreto normal, lo que generalmente ocurre es la evaporación continua de humedad de una superficie expuesta debido a la diferencia en los potenciales químicos (energía libre) entre las fases de vapor y líquido. Sin embargo, cuando se agregan polímeros en la mezcla, tienden a formar enlaces de hidrógeno con las moléculas de agua y reducen el potencial químico de estas, lo que a su vez reduce la presión de vapor, y en consecuencia la velocidad de evaporación de la superficie.

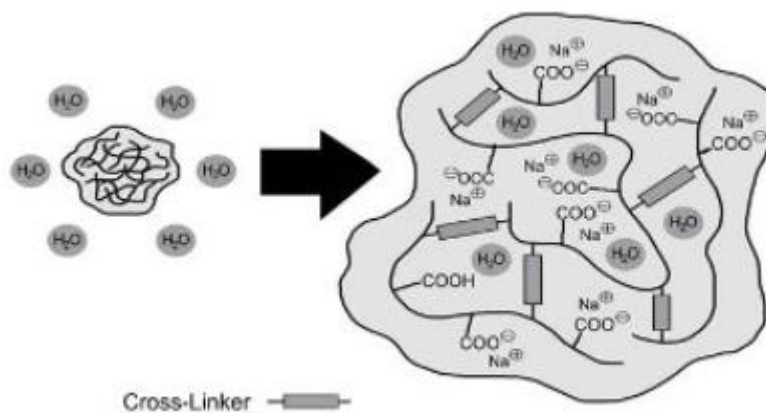


Imagen 10. Mecanismo y reacción química de un polímero dentro de la pasta del cemento, obsérvese que este forma enlaces que encapsulan el agua y dificultan su liberación.

Los siguientes materiales pueden proporcionar retención de agua interna:

- Agregado ligero (lutita expandida natural y sintética)
- Polímeros súper absorbentes (tamaño 60-300 nm)
- Polímeros varios (propileno, polietilenglicol, alcohol polivinílico)
- Agregados finos ligeros de 19 mm de grosor (absorción de agua: 20%) y
- Polvo de madera

Mejoras en el concreto debido al curado interno

- Reduce el agrietamiento autógeno
- Elimina en gran medida la contracción autógena,
- Reduce la permeabilidad
- Protege el acero de refuerzo
- Proporciona mayor durabilidad.
- Reología mejorada
- Menor mantenimiento,
- Mayor módulo de elasticidad
- Mejor acabado en el elemento
- Reduce el efecto negativo de confiar en un curado externo.

2.3 Definición de términos básicos

Curado: Mantener el concreto o el mortero a una temperatura y humedad adecuadas para asegurar su hidratación y endurecimiento adecuados.

Curado interno del concreto: Este tipo de curado consiste en almacenar agua al interior del concreto que no está disponible durante el mezclado o en las primeras etapas de hidratación, pero es liberada más tarde para el curado.

Curado sumergido en agua del concreto: Este curado consiste en seguir los procedimientos indicados en la Norma ASTM C 31. El cuál es el procedimiento para curar especímenes cilíndricos de concreto sumergiéndolos en agua de curado. La Norma indica que Transcurridas

24 ± 8 horas después de elaborar los especímenes, éstos serían sacados de los moldes y se procede a realizar el curado por sumersión en agua que tenga una temperatura cercana a 21°C, para lo cual se puede saturar el agua con cal viva (ASTM C 31M-17, 2017).

Aditivo Curador: Líquido que aplicado por aspersion sobre el concreto fresco le permite alcanzar su resistencia de diseño sin utilizar el curado con agua durante 7 días. Este curador forma una película plástica o sello protector impermeable, flexible y muy resistente.

Polímeros: Los polímeros se definen como macromoléculas que se obtienen por la unión de una o más moléculas pequeñas repetidas a lo largo de una cadena. La unidad que se repite en el polímero es el monómero y la reacción por la que se forman es la reacción de polimerización. Los polímeros pueden ser inorgánicos, por ejemplo el vidrio, pero la mayoría de polímeros de interés industrial son compuestos orgánicos formados por hidrocarburos asociados a diferentes elementos, es decir, moléculas formadas por cadenas de átomos de carbono a los que se unen otros elementos.

Alcohol polivinílico: El alcohol polivinílico se produce comercialmente a partir de acetato de polivinilo, generalmente mediante un proceso continuo. Los grupos acetato se hidrolizan por intercambio de éster con metanol en presencia de metilato de sodio anhidro o hidróxido de sodio acuoso. El alcohol polivinílico es un polvo granular inodoro e insípido, translúcido, blanco o de color crema. El alcohol polivinílico contiene dos grupos OH. Ayuda a retener el agua del hormigón. Es soluble en agua, ligeramente soluble en etanol, pero insoluble en otros solventes orgánicos. Típicamente, una solución al 5% de alcohol polivinílico exhibe un pH en el rango de 5.0 a 6.5. El alcohol polivinílico tiene un punto de fusión de 180 a 190 ° C. El alcohol polivinílico posee una alta resistencia final a la tracción, módulo de elasticidad relativamente alto, buena compatibilidad química con cemento Portland, buena afinidad con el agua y sin riesgos para la salud.

Cemento portland: Cemento compuesto de una mezcla de caliza y arcilla, que fragua muy despacio y es muy resistente; Material de construcción compuesto de una sustancia en polvo que, mezclada con agua u otra sustancia, forma una pasta blanda que se endurece en contacto con el agua o el aire. [20]

El Agua de Curado: Es la más importante durante la etapa del fraguado y el primer endurecimiento. Tiene por objeto evitar la desecación, mejorar la hidratación del cemento y evitar la retracción prematura. El Agua de Curado tiene una actuación más duradera que el Agua de Amasado, y por lo tanto se corre más riesgos al aportar sustancias perjudiciales con el Agua de Curado que con el Agua de mezclado. [21]

Relación agua/cemento: La relación agua/cemento de diseño se refiere a la cantidad de agua que interviene en la mezcla cuando el agregado está en condición de saturado superficialmente seco, es decir, no toma ni aporta agua. La relación agua/cemento efectivo se refiere a la cantidad de agua de la mezcla cuando no se tiene en consideración la relación real de la humedad del agregado [25]

El Agua de mezcla: cumple una doble función en el concreto, por un lado, participa en la reacción de hidratación del cemento, y por otro confiere al concreto el grado de trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra. La cantidad de agua de amasado debe limitarse al mínimo estrictamente necesario para conferirle a la pasta la trabajabilidad requerida, según las condiciones en obra, ya que el agua en exceso se evapora y crea una red de poros capilares que disminuyen su resistencia. [21]

Absorción: La absorción de los agregados se obtiene generalmente después de haber sometido al material a una saturación de 24 horas, cuando ésta termina se procede a secar superficialmente el material y por diferencias de masa se logra obtener el porcentaje de absorción con relación a la masa seca del material.

Porosidad: La porosidad es una característica importante del concreto y de esta dependen en parte otras propiedades como la resistencia a la compresión y la durabilidad. Se sabe que la resistencia a la compresión es el dato más relevante para diseñar; asimismo, se debe tomar en cuenta la durabilidad.

Resistencia a Compresión: La resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras. La resistencia a la compresión se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión. La resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en unidades de libra-fuerza por pulgada cuadrada (psi). [28]

Resistencia a Flexión: La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto (concreto). Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) de sección transversal y con luz de como mínimo tres veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el 48 Módulo de Rotura (MR) en libras por pulgada cuadrada (MPa) y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) o ASTM C293 (cargada en el punto medio).

Peso unitario del concreto: Se define como densidad del concreto a la relación del volumen de sólidos al volumen total de una unidad cúbica. Puede también entenderse como el porcentaje de un determinado volumen del concreto que es material sólido. [21]

III. Materiales y métodos

3.1. Tipo de estudio y diseño de contrastación de hipótesis

Tipo de estudio:

El presente estudio es de naturaleza “descriptiva”, puesto que se busca exponer los usos del alcohol polivinílico en el curado interno del concreto y puntualizar cuáles serían sus efectos sobre el material terminado, todo ello en base al análisis de antecedentes bibliográficos de procedencia nacional e internacional.

Diseño de contrastación de hipótesis

- De acuerdo al nivel de investigación es descriptiva, puesto que implica detallar el comportamiento del objeto de estudio sin influir sobre él de ninguna manera.
- De acuerdo al diseño de investigación es transversal, puesto que se realiza en un determinado momento en un área geográfica.
- De acuerdo al fin que se persigue es aplicada, puesto que en base a la recopilación de información pretende dar solución a un planteamiento específico.

3.2. Variable y operacionalización

En la bibliografía analizada fue muy común encontrar la ejecución de ensayos de propiedades mecánicas así como también de durabilidad en el concreto a las edades de 7, 14 y 28 días.

a. Variables dependientes

- Resistencia a la compresión del concreto.
- Resistencia a la flexión del concreto.
- Retención de humedad.

b. Variable independiente:

- Dosificación de alcohol polivinílico.
- Propiedades de los agregados naturales.

VARIABLE	INDICADORES	INSTRUMENTOS
VAR. INDEPENDIENTE:		
Alcohol Polivinílico	Porcentaje de alcohol polivinílico en peso del cemento en la mezcla	Balanzas Recipientes
Propiedades de los Agregados Naturales	Granulometría	Juego de Tamices
	Peso específico	Balanzas
	Contenido de humedad	Horno
	Dosificación	Recipientes
VAR. DEPENDIENTE:		
Resistencia a compresión del concreto	Fuerza de compresión aplicada	Máquina de ensayo de compresión
	Área resistente	
Resistencia a la Flexión del concreto	Módulo de rotura(MR)	Máquina de prueba a Flexión de carga a los tercios
Retención de humedad	% de humedad	Balanzas, datos de campo.

Fuente: Elaboración Propia

3.3. Población, muestra de estudio y muestreo

Población

Debido al tipo de investigación, son todas aquellas fuentes de información confiables de cualquier tipo y en cualquier idioma, como artículos científicos (de revistas o periódicos) y tesis, que traten sobre el uso del alcohol polivinílico como agente de curado interno en el concreto.

Muestra

Son aquellos artículos y tesis de validez científica a partir del año 2010 en adelante que traten la temática y que lo demuestren experimentalmente. La muestra de 8 antecedentes fue escogida de entre un aproximado de 39 fuentes bibliográficas.

Muestreo

El tipo de muestreo es no probabilístico, ya que la elección de los elementos de estudio se ha realizado de acuerdo al criterio del investigador.

3.4. Metodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

TÉCNICA:	INSTRUMENTO:	APLICACIÓN:
Análisis de documentos	Fichas de registro de información (Anexo N° 01)	Fuentes primarias y secundarias de información (tesis y artículos)

3.5. Procesamiento para el análisis de datos

Para el procesamiento de los datos obtenidos del análisis documental, sean cuantitativos o cualitativos, se usó como herramienta principal el programa de hojas de cálculo Excel, que permite sintetizar la información y presentarla en forma de gráficos de barras, de dispersión, etc.

IV. Resultados y discusión

4.1. Resultados

De acuerdo con las fuentes bibliográficas consultadas, nacionales e internacionales, el conocimiento científico y empírico sobre la producción de concreto adicionado con alcohol polivinílico, es muy limitado; especialmente a nivel local, donde la investigación aplicada en cualquiera rama de la ingeniería es muy reducida. A nivel nacional se han realizado algunas pequeñas contribuciones respecto al uso de polímeros para poder lograr un mecanismo de curado interno, y solo se observó la aplicación del tipo SAP (súper absorbentes). A nivel internacional, Inglaterra, Estados Unidos así como algunos países africanos como Nigeria y otros países árabes como India e Irán, son algunos de los estados que más promueven el uso de polímeros en el concreto y que a la vez invierten en investigación aplicada en la rama de materiales sostenibles y eficientes en la construcción, contribuyendo así con algunos artículos que han demostrado experimentalmente la utilidad del alcohol polivinílico así como de otros polímeros solubles en agua; sin embargo, estos aportes siguen siendo insuficientes respecto al conocimiento que se tiene de otras tecnologías.

Este estudio considera que es muy necesario que a nivel local y nacional se impulse la investigación aplicada en la rama del uso de polímeros en la construcción ya que estos compuestos han demostrado ser muy versátiles y eficientes para controlar cualquier característica en distintos materiales. Asimismo, se agradecería seguir investigando las características que pueden aportar los polímeros a las mezclas de concreto, establecer medidas y dosificaciones de uso y estándares de calidad, puesto que este material presenta propiedades muy favorables como adición.

4.2. Efectos del alcohol polivinílico

TABLA N° 01: EFECTOS DEL USO DE ALCOHOL POLIVINILICO COMO AGENTE DE CURADO INTERNO EN EL CONCRETO				
LUGAR	AUTOR	TÍTULO	AÑO	CONCLUSIÓN
Anakapalle, India	Stella, Evangeline	Self Curing Concrete and Its Inherent properties	2014	<p>Después de analizar los datos de laboratorio, se concluye que el porcentaje de pérdida de agua a lo largo de la vida de los especímenes es mucho menor con respecto a la del concreto pasado por inmersión durante 7 días, el porcentaje óptimo de adición de alcohol polivinílico fue de 0.48% pues esta adición, logro resistencias a la compresión, tracción y flexión mucho mayores a la del concreto convencional, se pudo observar también que la relación agua cemento afecta el rendimiento del agente curador. Como punto adicional en la investigación también se evaluó la durabilidad de este concreto, en una solución acuosa al 10% de sal, de esta manera luego de 14 días expuesta a este ambiente se realizó el ensayo, el cual obtuvo el mayor valor para la dosificación de 0.48% de alcohol polivinílico confirmando de esta manera la reducción de la permeabilidad y el aumento de durabilidad que aporta el autocurado al concreto con este compuesto.</p>

Anakapalle, India	N.Kholia, et al.	Efferct on concrete by Different curing Method and Efficiency of Curing Compounds	2013	<p>El uso de 0,48% de alcohol polivinílico en porcentaje del peso del cemento como agente de autocurado proporciona una mayor resistencia a la compresión, a la flexión y a la tracción que la resistencia de la mezcla convencional; también se puede observar que con el aumento en el porcentaje de alcohol polivinílico se reduce la pérdida de peso del hormigón. La eficiencia del concreto autocurado es de 92.5% en comparación con el método convencional de curado, en cambio, utilizando los métodos de curado por membrana se puede lograr el 90% de eficiencia en comparación con el curado convencional.</p>
----------------------	---------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------	------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Iran	A. Allahverdi, K. Kianpur and M. R. Moghbeli	Effect of Polyvinyl Alcohol on Flexural Strength and some important Physical Properties of Portland Cement Paste	2010	<p>Se concluye de que en relaciones agua-cemento bajas el alcohol polivinilico no ayuda a las propiedades físicas, esto debido a que la baja cantidad de agua no logra una hidrolisis en el polímero o lo logra su dispersión completa a lo largo de la mezcla de concreto, los resultados cambian cuando la relación aumenta a 0.30 pues se observó una mejora significativa en la resistencia a flexión especialmente en relaciones alrededor del 1.6% del peso del cemento en las cuales se alcanzó hasta 2 veces el valor convencional. En el ensayo de permeabilidad íntimamente relacionado con la absorción de agua se puede observar que mientras más adición de polímero allá en el mezcla el % en volumen de poros que determina la permeabilidad es menor.</p>
------	-----------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tamil Nadu, India	Vaseem Akram.N , Balachandiran P	Experimental study of self-curing concrete by using Polyvinyl Alcohol	2018	<p>Se concluye que para porcentajes mayores al 2% de alcohol polivinílico se tienen efectos perjudiciales en las propiedades del concreto, definiéndose que la dosificación óptima de alcohol polivinílico es del 1.5% en peso del cemento, ya que esta obtuvo valores incluso mayores de resistencias en comparación con una probeta dentro de inmersión en un laboratorio, destacándose que el espécimen de alcohol polivinílico presenta valores sin mayor variación si es curado en cualquier lugar fuera del laboratorio, demostrándose de esta manera su total funcionalidad y eficiencia frente a métodos tradicionales de curado.</p>
Iraq	Waleed A. Abbas, Iqbal N. Gorgis and Mahdi J. Hussien	Self-curing cement mortar composite by using poly vinyl alcohol	2019	<p>Al obtener los resultados a los 28 días se determinó que la mezcla con adición de alcohol polivinílico obtuvieron los valores más altos en la resistencia a flexión y compresión, pero de estas 2 mezclas la que mejor desempeño tuvo fue la mezcla en la que se realizó el curado tipo interno, pues se obtuvieron valores un tanto mayores a los que pudo obtener la misma mezcla pero realizándosele un curado por inmersión, al momento de evaluar la modificación química se pudo observar que no hubo ninguna variación microscópica en las partículas que componen el cemento ni en la reacción química de este, se pudo determinar mediante imágenes microscópicas con un aumento de 200x, el concreto tradicional presenta nano fisuras en su área, caso contrario del adicionado en el cual se encontró al material intacto y bien distribuido, de esta manera se concluye en la utilización exitosa de este material en las mezclas de concreto.</p>

Delhi, India	B. Ajitha, Ghantasala Nirupama	Evaluation of Properties of Self- curing concrete by using Polyvinyl Alcohol	2017	<p>Los autores mediante la siguiente investigación se plantean el uso de alcohol polivinilico en porcentajes menores al 0.5% del peso del cemento, pues como se observó en todos los estudios anteriores, este no es un umbral tan conocido del comportamiento de este polímero, las mezclas se realizaron en concentraciones de 0.03%, 0.06%, 0.12%, 0.24% del peso del cemento para evaluar la resistencia a la flexión y a la tracción diametral en el concreto, luego de observar los resultados de los ensayos se pudo determinar que la resistencia a la flexión y tracción aumento cuando el porcentaje de alcohol polivinilico aumentaba en la mezcla obteniéndose una óptima dosificación en 0.24% de alcohol polivinilico, también se pudo observar que la trabajabilidad del concreto mejoraba mientras el porcentaje del polímero aumentaba, dando un adicional de beneficio al uso de este Alcohol soluble en el concreto.</p>
--------------	-----------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------	------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Kerala, India	T. A Sajana Khader, T.S Shabana	<p style="text-align: center;">Experimental Investigation on the Mechanical Properties of Self Curing Concrete Using Sodium Lignosulphonate and Polyvinyl Alcohol</p>	2018	<p>En la investigación consultada de mano de estos autores, se busca descubrir experimentalmente las propiedades del alcohol polivinilico sumado al Lignosulfato de sodio en el autocurado de concreto, este estudio comprobara su hipótesis bajo la realización de tres ensayos de laboratorio, la resistencia a la flexión, la resistencia a la compresión, y la resistencia a la tracción dividida en el concreto; el polímero y el químico se adicionaran por separado y juntos, obedeciendo las siguientes dosificaciones : en el caso del alcohol polivinilico (0.24%, 0.48%, 0.96%), y en el caso del lignosulfato (0.5%, 1%, 1.5%, 2%), estas dosificaciones se combinaran en contenidos óptimos de ambas sustancias para observar cual es el comportamiento. Luego delo ensayos se pudo observar que el concreto adicionado con los materiales estipulaos logra una resistencia mucho mayor a la del concreto sin ningún agregado y con un curado por inmersión, a mayor concentración de los agentes autopolimerizables, las propiedades mecánicas empeoran; La mezcla P0.48 S1 con 0.48% de alcohol polivinílico y 1% de lignosulfonato de sodio proporciona la máxima resistencia a la compresión en comparación con todas las demás mezclas. En comparación con la mezcla normal, el hormigón autopolimerizable es 23.94% más alta la resistencia a la compresión.</p>
------------------	---------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Kanpur, India	Aman Kushwaha, Satish Parihar	Self-Curing by using of Super Absorbent Polymer and Shrinkage Reducing Admixture for M-40	2018	<p>En la presente investigación se busca determinar el comportamiento híbrido de dos agentes de autocurado, el alcohol polivinílico y el polienglicol 400, este último un muy afanado polímero con uso muy extenso en los aditivos químicos para el concreto; para comprobar la hipótesis los autores plantean la ejecución de ensayos de compresión para las siguientes dosificaciones: polienglicol 400-0.5%; 1%; 1.5%, 2%; alcohol polivinílico – 0.12%, 0.24%, 0.48%; y una combinación de PEG 400 y PVA de 0.5% y 0.24% respectivamente obteniéndose de esta manera la dosificación óptima solo para PEG400 fue del 0.5%; así como también el contenido óptimo de PVA es de 0.24% del peso del cemento pues obtuvo mayores resistencias al final del proceso, el concreto convencional tiene mayores resistencias tempranas, pero a los 28 días estas son superadas totalmente por la mezcla con 0.24% PVA y 0.5% PEG400.</p>
------------------	--------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

V. Conclusiones

- Posterior al análisis de los antecedentes se concluye que los estudios realizados sobre la influencia del alcohol polivinílico en las mezclas de concreto corresponden en gran medida a las investigaciones de países como Estados Unidos, Iraq, Irán e India, la información en Perú y en América Latina es nula.
- En el ámbito local y nacional, el nivel de conocimiento con respecto al uso del Alcohol polivinílico en las mezclas de concreto es mínimo; esto se debe a la poca investigación aplicada y a la limitada disponibilidad de los constructores para usar insumos no convencionales en proyectos reales. A nivel internacional los aportes científicos son mayores, sin embargo, sigue siendo poco a comparación del conocimiento de otras tecnologías.
- La manera de dosificación más común para la introducción del polímero a la mezcla del concreto es mediante un porcentaje de la masa total de cemento que se usará en el concreto, de esa manera los rangos más comunes de dosificaciones evaluadas están entre 0.24% - 1.5%.
- Los materiales sobre los que más se ha investigado el efecto del Alcohol polivinílico son: concreto simple y mortero de cemento.
- El Alcohol polivinílico mejoró en un 92.86% de los casos las propiedades mecánicas en el concreto cuando se adicionó la cantidad óptima; solo el 7.14% no presentó mejoras respecto al concreto curado por inmersión.
- Solo el 30.77% de estudios revisados realizó un ensayo de durabilidad, concluyendo en todos los casos que la presencia de este polímero en la mezcla reduce los volúmenes de poro, por lo tanto afecta la absorción de agua lo que desemboca en una menor permeabilidad la cual es un sinónimo de durabilidad.
- La manera más óptima de su inclusión en la mezcla es disuelto en un porcentaje del agua de mezcla, de esta manera logra distribuirse equitativamente en todas las partículas del espécimen del concreto que se piensa evaluar.
- El porcentaje óptimo de dosificación de alcohol polivinílico en las mezclas de concreto es 0.24% - 0.48% del peso del cemento, pues en casi en la totalidad de los ensayos se observaron los mejores resultados dentro de este rango.

VI. Recomendaciones

- Se recomienda que las investigaciones que se utilicen como antecedentes de investigación tengan carácter científico y sean de naturaleza reciente, para que los resultados del análisis descriptivo sea lo más actualizado posible.
- Sería importante acompañar a las investigaciones con un estudio económico que ayude a la comparación más eficiente y real con otros métodos de curado.

V. Referencias bibliográficas

- [1] ASOCEM, «REPORTE ESTADISTICO MENSUAL NOVIEMBRE 2019,» ASOCEM, LIMA, 2019.
- [2] S. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. Panarese y J. Tanesi, DISEÑO Y CONTROL DE MEZCLAS DE CONCRETO, ILLINOIS: PCA, 2004.
- [3] L. F. L. OLIVERA, «EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CURADO DE CONCRETO EN OBRA Y LABORATORIO, EN EL DISTRITO DE YANACANCHA, PASCO – 2017,» UNDAC, PASCO, 2018.
- [4] V. VALDEZ, «APLICACIONES DEL AGUA EN LA INGENIERIA CIVIL,» UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO, CHICLAYO, 2014.
- [5] A. DUBRAVIC, «Quantification of water consumption during the construction process of single family housing type,» de *Book of Proceedings of the 3rd International Congress on Sustainable Construction and Ecco-Efficient Solutions*, SEVILLA, 2017, pp. 1084-1107.
- [6] A. V. Taico, «Concreto autocurado $f'c=210$ kg/cm², reemplazando un porcentaje de agregado grueso con traquita,» Cajamarca, 2019.
- [7] F. S. PRETELL, «CONCRETO AUTOCURABLE DE ALTA RESISTENCIA $F'c=420$ Kg/Cm², CON UN PORCENTAJE DE TRAQUITA EN EL AGREGADO GRUESO COMPARADO CON LOS PROCESOS MÁS USADOS DE CURADO,» UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, CAJAMARCA, 2017.
- [8] M. G. M. A. H. A.-R. A. Z. Y. Magda Mousa, "MECHANICAL PROPERTIES OF SELF-CURING CONCRETE (SCUC)," *Housing and Building National Research Centre HBRC Journal*, 2014.
- [9] R. P. Quispe, «Comportamiento de la trabajabilidad y resistencia a compresión de un concreto de alta resistencia inicial con adición de polímeros superabsorbentes en la ciudad de Puno,» Puno, 2014.
- [10] S. Evangelline, "Self Curing Concrete and Its Inherent properties," *International Journal of Engineering Research and Applications*, pp. 66-71, 2014.

- [11] N. Kholia, B. A Vyas and T. G. Tank, "EFFECT ON CONCRETE BY DIFFERENT CURING METHOD AND EFFICIENCY OF CURING COMPOUNDS," *International journal of advanced engineering technology*, 2013.
- [12] El-Dieb, "Self-Curing concrete: Water retention, Hydration and Moisture Transport," *Construction and Building Materials*, pp. 1282-1287, 2007.
- [13] H. Reinhart and S. Weber, "Self-Cured high Performance Concrete," *Journal of Materials in Civil Engineering*, 1998.
- [14] A. Allahverdi, K. Kianpur and M. Moghbeli, "Effect of Polyvinyl Alcohol on Flexural Strength and some important Physical Properties of Portland Cement Paste," *Iranian Journal of Materials Science and Engineering*, vol. 7, no. 1, 2010.
- [15] V. Akram. y P. Balachandiran, «Experimental study of self-curing concrete by using Polyvinyl Alcohol,» *Iranian Journal of Materials Science and Engineering Research* , vol. 9, nº 3, 2018.
- [16] A. waleed, N. Ikbal y H. Mahdi, «Self-curing cement mortar composite by using poly vinyl alcohol,» *Kufa Journal of Engineering* , vol. 10, nº 4, pp. 16-28, 2019.
- [17] B. B. Ajitha y G. Nirupama, «Evaluation of Properties of Self-curing concrete by using Polyvinyl Alcohol,» *International Conference on Academic Research in Engineering and Management*, Lodhi Road, 2017.
- [18] S. Khader y T. Shabana, «Experimental Investigation on the Mechanical Properties of Self Curing Concrete Using Sodium Lignosulphonate and Polyvinyl Alcohol,» *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 7, nº 3, 2018.
- [19] A. Kushwaha y S. Parihar, «Self-Curing by using of Super Absorbent Polymer and Shrinkage Reducing Admixture for M-40,» *International Journal of Science Technology & Engineering*, vol. 4, nº 11, 2018.
- [20] E. Pasquel, *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú*, Lima: Colegio de Ingenieros del Perú, 1998.
- [21] E. Rivva, *Naturaleza y Materiales del Concreto*, Lima: CIP, 2004.
- [22] D. Cuellar, *Caracterización Física de Agregados Petreos*, Bogota, 2014.
- [23] D. Osorio, «Resistencia Mecánica del concreto y Resistencia a la Compresión,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/resistencia-mecanica-del-concreto-y-compresion>. [Último acceso: 13 Julio 2020].
- [24] D. Guzman, *Tenología del concreto y del Mortero*, Bogota: EDITORIALES LTDA, 2001.
- [25] E. Rivva, *Diseño de Mezclas*, Lima: CIP, 1992.
- [26] T. Powers, "A Discussion of Cement Hydration in Relation to the of Concrete," *Journal of Portland Cement Association*, p. pp. 14, 1948.

- [27] Burg y Ost, «Engineering Properties of Commercially Available High-Strength Concretes - Including Three Years Data,» *Research and Development Bulletin RD104*, p. 62, 1994.
- [28] ASTM, ASTM C39 - Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto, 1999.
- [29] G. Rivera, *Concreto Simple*, Cauca, 2013.
- [30] E. Alario, «Alario,» 13 Octubre 2014. [En línea]. Available: <https://enriquealario.com/curado-de-hormigon/>. [Último acceso: 14 Julio 2020].
- [31] H. Gonnerman y E. Shuman, «Flexure and Tension Test of Plain Concrete,» *Portland Cement Association*, pp. 149-163, 1928.
- [32] B. Mohd.Hanif, B. Mahd. Ashraf, S. KaleemSaleem y U. Naeem, «An Experimental Investigation on Internally Cured Concrete,» Anjuman-I-Islam's Kalsekar Technical Campus, Navi Mumbai, 2016.
- [33] A. Neville, *Properties of Concrete*, New York: Addison Wesley Logman Limited, 1996.
- [34] D. Bentz y J. Weiss, «Internal Curing: A 2010 State of the Art Review,» National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 2011.
- [35] I. NATIONAL, «HOW MUCH WATER SHOULD BUILDINGS CONSUME,» *THE INDU*, p. 12, 07 FEBRERO 2004.
- [36] C. M. Laica, «El curado del hormigón y su incidencia en las propiedades mecánicas finales,» Ambato, 2013.
- [37] ACI, *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05)*, Spanish Edition, 2008.
- [38] ASTM, *Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto*, 2017.
- [39] S. Mindess, J. F. Young y D. Darwin, *Concrete*, Nueva Jersey: Prentice Hall, 2003.

VIII. Anexos

Anexo N° 01: Modelo de ficha de registro de información

TÍTULO	Título de la investigación
TIPO DE DOCUMENTO	Artículo de revista, periódico, tesis de grado, maestría, doctorado, etc.
NOMBRE	Nombre de revista, periódico, universidad o institución que realiza la investigación
FECHA	Mes, año
AUTOR(ES)	Apellidos y nombres de los autores
PROCEDENCIA	Ciudad, país
JORNADA	Edición, volumen, páginas
PROBLEMÁTICA	Problema que busca solucionar la investigación
SOLUCIÓN	Solución propuesta por en la investigación
METODOLOGÍA	Técnicas, ensayos, diagramas u otras herramientas usadas (indicar nombre y para qué se utilizó).
NORMATIVA	Normas seguidas para el desarrollo de la metodología
CONCLUSIONES	Conclusiones, observaciones y recomendaciones
INVESTIGACIONES FUTURAS	Investigación futura que el investigador recomienda seguir
FUENTE	Bases de datos / Facultad de Universidad
DIRECCIÓN URL	Link (si el documento es virtual)