

**AFECTACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS EN
CONCRETO HIDRÁULICO ANTE DIFERENTES MÉTODOS DE CURADO**

**SANTIAGO GÓMEZ SÁNCHEZ
MARÍA PAULA HOYOS RUÍZ
TATIANA OSPINA MOLINA
VALENTINA REVILLA VARGAS**

**UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
PEREIRA
2019**

**AFECTACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS EN
CONCRETO HIDRÁULICO ANTE DIFERENTES MÉTODOS DE CURADO**

**Auxiliares de investigación:
SANTIAGO GÓMEZ SÁNCHEZ
MARÍA PAULA HOYOS RUÍZ
TATIANA OSPINA MOLINA
VALENTINA REVILLA VARGAS**

**INVESTIGACIÓN COMO TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**Director de proyecto de investigación:
Docente investigador Alejandro Álzate Buitrago**

**Línea de investigación: GESTIÓN DEL RIESGO Y DESARROLLO
SOSTENIBLE**

**UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
PEREIRA
2019**

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	7
1. INTRODUCCIÓN	8
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	10
3. JUSTIFICACIÓN	12
4. OBJETIVOS	14
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
5. MARCO REFERENCIAL.....	15
5.1 MARCO TEÓRICO	15
5.1.1 El concreto	15
5.1.2 Curado del concreto.....	17
5.1.3 Diseño de muestras del concreto.....	21
5.1.4 Resistencia a la compresión	22
5.2 MARCO DE ANTECEDENTES	24
5.3 MARCO LEGAL.....	26
5.4 MARCO CONCEPTUAL.....	28
6. DISEÑO METODOLÓGICO	31
6.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN Y TIPO DE ESTUDIO.....	31
6.2 MATRIZ DE DISEÑO METODOLÓGICO	32
6.3 FASES Y RESULTADOS	33
7. RESULTADOS	35
7.1 Evaluación de los métodos de curado del concreto.....	35
7.2 Factores de comparación entre los diferentes métodos de curado del concreto	49
8. CONCLUSIONES.....	55
9. RECOMENDACIONES.....	57
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Sistemas para curar el concreto	19
Tabla 2. Métodos del curado del concreto	20
Tabla 3. Moldes cilíndricos más usados	22
Tabla 4. Capas para el llenado de cilíndricos	23
Tabla 5. Requisitos para la elaboración de cilindros.....	23
Tabla 6. Marco legal	26
Tabla 7. Matriz de diseño metodológico	32
Tabla 8. Fases y resultados.....	33
Tabla 9. Resultados de ensayo a la compresión curado en agua.....	36
Tabla 10. Resultados de ensayo a la compresión curado en plástico	37
Tabla 11. Resultados de ensayo a la compresión curado con antisol	39
Tabla 12. Resultados de ensayo a la compresión para una mezcla sin curado ...	40
Tabla 13. Resistencia promedio para cada edad de falla y método de curado.....	42
Tabla 14. Indicadores de resistencia a la compresión a los 3 días de edad	49
Tabla 15. Indicadores de resistencia a la compresión a los 7 días de edad	50
Tabla 16. Indicadores de resistencia a la compresión a los 14 días de edad	51
Tabla 17. Indicadores de resistencia a la compresión a los 28 días de edad	52
Tabla 18. Aplicación de curado con agua	53
Tabla 19. Aplicación de curado materiales sellantes	54

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Comparación entre partículas hidratadas y no hidratadas de cemento ..	18
Figura 2. Relación del aumento de la resistencia a la compresión y la edad del concreto.	18
Figura 3. Ensayo a la compresión curado en agua a diferentes edades	36
Figura 4. Ensayo a la compresión curado en plástico a diferentes edades	38
Figura 5. Ensayo a la compresión curado con antisol a diferentes edades	40
Figura 6. Ensayo a la compresión mezcla sin curado a diferentes edades	41
Figura 7. Variación de la resistencia de acuerdo a la edad de las probetas	42
Figura 8. Resistencia a los tres días de edad	43
Figura 9. Resistencia a los siete días de edad	45
Figura 10. Resistencia a los 14 días de edad	46
Figura 11. Resistencia a los 28 días de edad	47
Figura 12. Resistencia a diferentes días de edad	48
Figura 13. Indicadores de resistencia a la compresión a los 3 días de edad	49
Figura 14. Indicadores de resistencia a la compresión a los 7 días de edad	50
Figura 15. Indicadores de resistencia a la compresión a los 14 días de edad	51
Figura 16. Indicadores de resistencia a la compresión a los 28 días de edad	52

RESUMEN

El concreto es uno de los materiales que más se utiliza en proyectos ingenieriles, integrado por arena, piedra, cemento y agua, considerado uno de los elementos más resistentes, para lograr dicha resistencia es necesario un método de curado acorde a los requerimientos, dado que éste influye en la resistencia y durabilidad del hormigón, existiendo diferentes métodos para este proceso, razón por la cual el proyecto de investigación se centró en determinar la afectación de la resistencia a la compresión del concreto ante diferentes métodos de curado como el antisol, el plástico, el agua y una mezcla sin presencia de curado, la metodología utilizada fue de enfoque experimental, comparando los diferentes métodos, para lo cual se elaboran cilindros fallados en 4 edades: 3, 7, 14 y 28 días. Entre los resultados más relevantes se encontró que ante los diferentes métodos de curado del concreto como antisol, plástico y agua, la resistencia incrementa a medida que aumenta la edad del concreto, pero el método que supera la resistencia esperada a los 28 días de edad, es el del curado con agua, alcanzando un 23.9% más de lo esperado, no obstante el método de curado debe obedecer al proyecto ingenieril desarrollado, considerando que las condiciones de humedad y temperatura se puedan controlar. Para una losa de carretera el método más recomendado es el antisol, debido a que el método del curado con agua o aspersion implica que el concreto este sumergido en agua, encontrando dificultad en el desarrollo de grandes superficies de hormigón, el curado con plástico por motivos de locación tampoco es viable para este ejemplo específicamente, así las cosas, el método de curado depende no solo de la resistencia esperada, sino también de la practicidad y el costo beneficio.

1. INTRODUCCIÓN

El curado es uno de los métodos más significativos en el logro de los resultados de la calidad del concreto, impactando en todas sus propiedades físico mecánicas, cuidando de una hidratación y temperatura que garanticen el desarrollo adecuado de las propiedades el concreto.

De acuerdo a Rivera (2013) y Sika (2009), el concepto de curado del concreto, enmarca el proceso por el cual se mantiene un contenido de humedad y temperatura que permite el endurecimiento del concreto y el desarrollo de las propiedades que se desean en el hormigón, estando a disposición diferentes métodos, tales como el curado por medio de un antisol, con el uso de plástico o de agua, encontrando que tanto el método como la correcta aplicación, afectan la resistencia a la compresión del concreto.

Éstos métodos de curado han sido estudiados por diferentes entidades, como el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, American Concrete Institute, Euclid Group Toxement, a nivel nacional a través del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10, en su capítulo C, dado la importancia que tienen los diferentes métodos para lograr la resistencia esperada.

Según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10, el concreto debe curarse, para que desarrolle todas sus propiedades, buscando además que no se afecte la resistencia requerida ni el funcionamiento del elemento o la estructura (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

El proyecto de grado “Afectación de la resistencia a la compresión de probetas en concreto hidráulico ante diferentes métodos de curados”, determina la afectación de la resistencia a la compresión del concreto ante diferentes métodos de curados como el antisol, el plástico y el agua, aportando al sector de la construcción por la comparación que realiza entre los diferentes métodos, buscando garantizar la resistencia potencial del concreto, en cuanto a compresión, contribuyendo además a extender la vida útil de las construcciones, para lograr este propósito se llevó a cabo una investigación con enfoque experimental, empleando como herramienta la comparación, desarrollando seis fases: la consulta de información secundaria sobre concretos y los métodos de curado, seguida del diseño de mezcla, los cuales se obtuvieron del laboratorio Asprecon, como tercer paso la fabricación de cilindros, elaborando 5 cilindros para cada método de curado, para ser fallados en 4 edades: 3, 7, 14 y 28 días, como cuarta etapa la evaluación de resultados y sistematización

de los mismos con base a la NTC 2275, se realizó el ensayo y tipos de falla, por último, se estructuró el informe final, presentando los resultados obtenidos.

Los resultados del trabajo investigativo, aportan al sector de la construcción, encontrando resultados comparativos de la afectación del concreto ante diferentes métodos de curado, fallado en diferentes edades, así mismo, aporta a la línea de gestión del riesgo y desarrollo sostenible, el conocimiento sobre los efectos de determinado curado en el concreto, benefician la resistencia del mismo a la compresión, buscando mejor calidad y durabilidad, en pro de las construcciones y por ende de quienes la utilizan.

Este trabajo está estructurado en 10 capítulos, el primero la introducción, el segundo el planteamiento del problema y pregunta de investigación, en el cual se exponen las dificultades ante una mala práctica del curado, el tercer capítulo la justificación, donde se argumenta la importancia de realizar la investigación, seguido de los objetivos, divididos en general y específicos, el quinto capítulo refiere el marco referencial, presentando el marco teórico, de antecedentes, legal y conceptual. En el sexto capítulo se relata el diseño metodológico, enfatizando el enfoque, matriz de diseño y fases y resultados.

En el séptimo capítulo el lector encontrará los resultados de la investigación, primero, la evaluación de los métodos de curado del concreto con antisol, plástico, agua y una mezcla sin presencia de curado, fallados en edades de 3, 7, 14 y 28 días, en segundo lugar, establece el comportamiento diferencial entre los métodos de curado utilizados y sus posibles aplicaciones

En los últimos capítulos se estructuran las conclusiones y recomendaciones de la investigación, por último, las referencias bibliográficas consultadas durante el desarrollo de la investigación.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

El concreto u hormigón, “es una mezcla homogénea de cemento, agua, arena y grava y en algunos casos de aditivos” (Gutiérrez, 2003), con amplia utilización por parte del sector ingenieril dada sus características de resistencia, durabilidad e impermeabilidad, este material se ha utilizado durante décadas permitiendo el desarrollo de diferentes estructuras, para lograr la resistencia y durabilidad requerida existen diferentes métodos para curar el concreto, proceso mediante el cual, éste se aleja de la intemperie y se expone a algún material, que permita obtener la resistencia esperada del mismo, por tanto, el curado influye en la calidad del hormigón, pues desarrolla su resistencia a la compresión simple, característica mecánica más importante del concreto (Gutiérrez, 2003). Sin embargo, según Rivera (2013), el curado a pesar de ser una de las operaciones más importantes en las construcciones con hormigón, es también una de las más descuidadas.

Un mal curado del concreto, está ligado a que su núcleo no se hidrate correctamente, pese a tener un grano pequeño, su hidratación no es total, iniciando del exterior al interior, por tanto, se desaprovecha el potencial del mismo, siendo de vital importancia el método del curado (Euclid Group Toxement, 2016).

Según el Euclid Group Toxement (2016), cuando no se cura el concreto, su resistencia solo llega al 55%, cuando se cura solo por 3 días, alcanza aproximadamente el 75% de la resistencia potencial; en siete días llega al 98%, cuando se cura permanentemente, la resistencia potencial puede alcanzar alrededor del 125% de su resistencia, la falta de curado puede causar fisuración, polvo y bajas resistencias, entre otros.

Las afectaciones antes mencionadas, infieren en la resistencia a la erosión por abrasión, en la resistencia y la durabilidad de las estructuras, provocando la rehabilitación de las mismas en un mediano plazo, traducido en un mayor costo, toda vez que se espera que la estructura tenga una larga vida, no estando preparados presupuestalmente para asumir gastos en un mediano plazo para realizar reparaciones y máxime cuando se dan por un error como no realizar un proceso de curado adecuado.

Las afectaciones del concreto por un mal curado, causan dificultades a las personas que utilizan las obras ingenieriles, donde se encuentran estructuras con fisuras,

generadoras de polvo, con una resistencia inadecuada, por ende, causar tragedias que involucren vidas humanas.

Aunado a lo anterior, las pruebas que se envían al laboratorio son curadas con agua, diferente, en algunos casos a la realidad del curado en obra, pese a que la NSR10 indica que las probetas curadas en obra deben ser las mismas que las de laboratorio, buscando una comparación válida (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), por tanto, es necesario conocer cuál es la afectación del concreto ante diferentes métodos de curado.

El problema de la investigación, nace de la necesidad de conocer la resistencia a la compresión del concreto según el método por el cual se haya curado, identificando el comportamiento diferencial entre los métodos de curado con antisol, plástico y agua, utilizados en diferentes obras ingenieriles, respondiendo a la siguiente pregunta de investigación:

Pregunta de investigación:

¿Cuál es la afectación de la resistencia a la compresión del concreto ante diferentes métodos de curados como el antisol, el plástico, el agua y una muestra sin presencia de curado?

3. JUSTIFICACIÓN

Un adecuado método de curado trae diferentes beneficios, entre ellos el incremento de la resistencia y durabilidad y en general todas las propiedades del concreto endurecido (Rivera, 2013), así mismo, Euclid Group Toxement (2016) afirma que un concreto con un método de curado adecuado tendrá mejor apariencia que uno pobremente curado o no curado.

Sin embargo, según el informe de Sika (2009) tres cuartos de los proyectos ingenieriles, tienen malas prácticas de curado o peor aún no se realiza, aunque este proceso sea económico y eficaz para contar con una obra que dure, que sea resistente y que no tenga grietas.

La importancia del curado, no solo radica en la resistencia final del concreto, sino que, además “disminuye la permeabilidad y mejora la resistencia de la piel de concreto al ingreso de gases (CO₂, Oxígeno)”, también “aumenta la resistencia a la abrasión de pisos de concreto, vías y obras hidráulicas, reduce la posibilidad de aparición de grietas por contracción plástica” (Sika , 2009).

En razón a lo anterior, una investigación para determinar la afectación de la resistencia a la compresión del concreto ante diferentes métodos de curado como el antisol, el plástico y el agua, se justifica dado que uno de sus aplicativos apunta a la optimización de los recursos utilizados en la fabricación de concretos y en general en los procesos constructivos, resaltando la importancia del sector de la construcción en la economía nacional y regional, dado que contribuye en \$1,3 billones anuales a la economía de Risaralda, con una participación en la economía del 10,1% y generador de 18.627 empleos de manera directa (Cámara Colombiana de la Construcción, 2018).

La pertinencia del tema, también radica en ofrecer al sector de la construcción y a los profesionales y técnicos del mismo, un documento en el cual se estructura la importancia del procedimiento del curado para mejorar la calidad del hormigón, comparando la afectación de la resistencia a la compresión del concreto ante diferentes métodos de curados como el antisol, el plástico, el agua, así mismo, se realizan pruebas a una mezcla sin presencia de curado, de forma tal que el personal perteneciente al sector de la construcción, se concienticen del aporte de esta actividad para el buen desarrollo de la propiedades del concreto, por ende al buen desempeño de una estructura, como se esboza anteriormente, se encuentran obras en las cuales no se tiene en cuenta una buena práctica del curado.

Los resultados de la investigación son aplicables para la industria, donde la calidad, resistencia y durabilidad del concreto juegan un papel de vital importancia, dado que no solo aseguran la calidad de vida de las personas que utilizan las obras ingenieriles, sino que también garantizan la durabilidad de las construcciones y un menor costo por rehabilitación de las estructuras.

La investigación sobre la afectación de la resistencia a la compresión de probetas en concreto hidráulico ante diferentes métodos de curado, es novedosa y actual en el ejercicio investigativo, logra evidenciar el comportamiento del concreto si no se cura y los daños que puede llegar a ocasionar en la estructura (desde fisuras hasta colapso del elemento, generando fallas estéticas hasta estructurales que afectan la vida de la construcción), el comportamiento diferencial entre los métodos de curado utilizados y sus posibles aplicaciones, resultados aplicables en un sector caracterizado por analizar en laboratorio muestras curadas con agua, aunque en la practica el curado sea mediante otro método, sin tener en cuenta las equivalencias de las muestras de laboratorio a lo real de campo.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la afectación de la resistencia a la compresión del concreto ante diferentes métodos de curados como el antisol, el plástico, el agua y una mezcla sin presencia de curado.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar los métodos de curado del concreto con antisol, plástico, agua y una mezcla sin presencia de curado, fallados en edades de 3, 7, 14 y 28 días.

Establecer el comportamiento diferencial entre los métodos de curado utilizados y sus posibles aplicaciones.

5. MARCO REFERENCIAL

En el marco referencial del proyecto de investigación, se determinan las teorías que enmarcan el proyecto, así mismo los antecedentes nacionales e internacionales de investigaciones con un objeto de estudio similar, además contiene la base legal y conceptual del proyecto.

5.1 MARCO TEÓRICO

El marco teórico describe las principales teorías bajo las cuales se desarrolla el proyecto, respondiendo a las principales variables que enmarcan la investigación, en razón a lo anterior, se desarrolla la teoría del concreto, el curado del concreto, el diseño de las muestras del concreto y la resistencia compresión.

5.1.1 El concreto

Polanco (2012) define el concreto como una “mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesto de cemento Portland y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada)”, formando una masa con similitudes a una roca.

El concreto es un material versátil utilizado en la construcción, obtenido a partir de la mezcla en cantidades adecuadas de piedra, arena, cemento y agua, en la actualidad también se agregan diferentes aditivos buscando obtener un mejor material (EuroRep, 2019).

Este material se ha empleado para diferentes construcciones desde épocas muy antiguas, según Niño (2013) “en Egipto se desarrolló el primer aglutinante conocido, el yeso” utilizado para obtener una textura lisa de las pirámides, tiempo después los romanos utilizaron morteros puzolánicos, concreto que guarda similitud con el usado actualmente.

De acuerdo al Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (2019), según la resistencia del concreto, éste se puede clasificar en 5 grupos:

Baja resistencia: usado en losas aligeradas y partes sin requerimientos estructurales, teniendo como beneficios un costo menor y propiedades básicas del concreto.

Resistencia moderada: concreto usado en edificaciones de tipo habitacional pequeño y edificaciones sencillas, utilizado por ser de un menor costo.

Normal: usado para cualquier clase de estructuras de concreto, generando beneficios de funcionalidad y disponibilidad.

Muy alta resistencia: usado en columnas de edificios de gran elevación, en partes de puentes, en elementos presforzados y para disminuir los espesores de los elementos, entre sus beneficios está lo estético de las estructuras.

Alta resistencia temprana: utilizado para proyectos de pavimentos, pisos, elementos presforzados, elementos prefabricados, edificaciones en climas con bajas temperaturas y donde se requiera agilizar el tiempo de acabado de la obra, como beneficios se encuentra la elevada resistencia temprana, la rapidez de obra, la optimización de estructuras auxiliares y un menor costo.

El concreto presenta propiedades mecánicas y físicas, en las primeras se resalta la resistencia a tracción y el esfuerzo cortante, los cuales son bajos, en las propiedades físicas se tiene la densidad, la resistencia a la compresión, el tiempo de fraguado y endurecimiento (Loya, 2018).

Para Loya (2018) el comportamiento mecánico del concreto depende de tres factores, el primero las características de la pasta, es decir, la matriz cementante; el segundo, la calidad de los agregados la cual debe responder según el desempeño de la estructura, el tercero, la afinidad entre los dos primeros factores, la forma como se acoplen.

Por su parte Palacios (2019) expresa que éstas características físicas y mecánicas hacen que el concreto sea uno de los elementos más usados en el sector de la construcción, dada la facilidad para adoptar diferentes formas, la resistencia a la compresión y la resistencia al fuego y la penetración al agua.

5.1.2 Curado del concreto

Según Rivera (2013), el curado se define como “el proceso de mantener un contenido de humedad satisfactorio y una temperatura favorable en el concreto, durante la hidratación de los materiales cementantes, de manera que se desarrollen en el hormigón las propiedades deseadas”.

El curado del concreto, según el American Concrete Institute (Sika , 2009), “es el proceso por el cual el concreto elaborado con cemento hidráulico madura y endurece con el tiempo, como resultado de la hidratación continua del cemento en presencia de suficiente cantidad de agua y de calor”, así las cosas, el cemento requiere de cierta cantidad de agua para hidratarse (en promedio 25% de la masa de cemento).

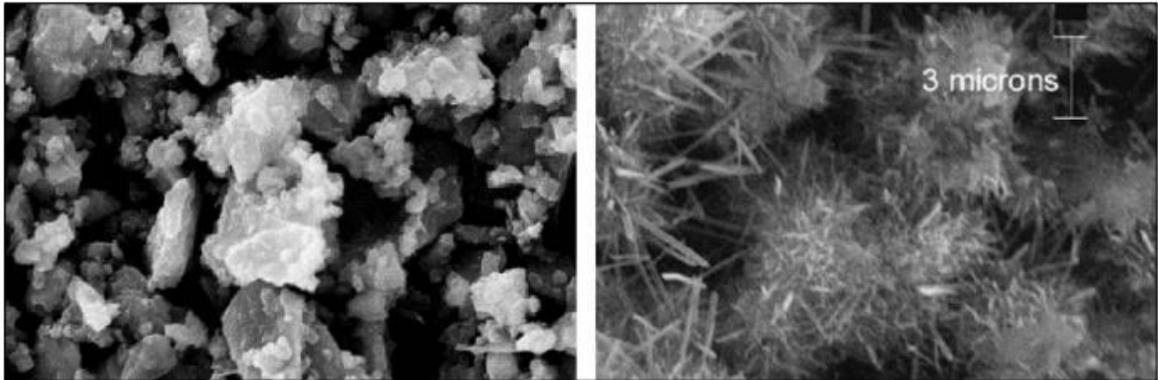
El curado logra el endurecimiento del concreto, el cual se produce por las reacciones químicas que tienen lugar entre el cemento y el agua, proceso llamado hidratación, logrado únicamente si no falta agua y se tiene una temperatura adecuada, así las cosas, si se pierde agua por evaporación, la hidratación se interrumpe, por tanto, el concreto deja de ganar resistencia y mejorar otras propiedades convenientes.

En razón a lo anterior, cuando el concreto permanece húmedo, con una temperatura favorable, desarrolla la resistencia esperada (Universidad Centroamericana José Simeón Cañas , 2014).

En la

Figura 1. Comparación entre partículas hidratadas y no hidratadas de cemento se aprecia las partículas de cemento Portland hidratadas y las no hidratadas, observando como el cemento hidratado (figura izquierda) se obtiene un tejido filamentososo, denominado “gel de cemento”, con la hidratación las fuerzas de las partículas incrementan, disminuyendo la porosidad (Corrales , 2015).

Figura 1. Comparación entre partículas hidratadas y no hidratadas de cemento

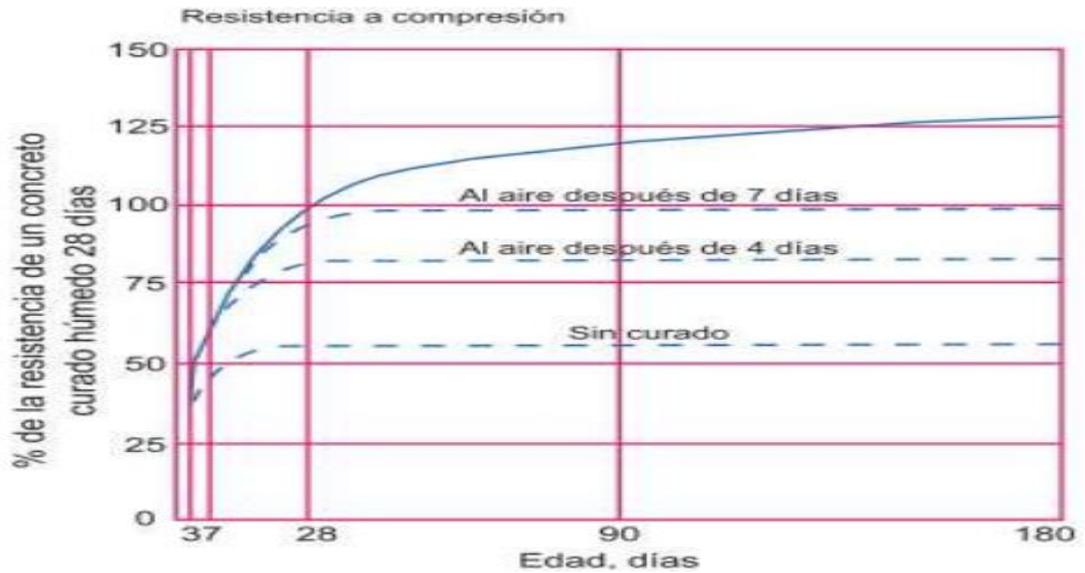


Fuente: (Corrales , 2015)

De acuerdo a Loya (2018), el objetivo del curado es “impedir el secado prematuro”, evitando que la reacción química entre el agua y el cemento se vea interrumpidas, debido a la ausencia del agua, así mismo evitar una contracción prematura que generará fisuras.

Vélez (Vélez , sf), expone en la Figura 2. Relación del aumento de la resistencia a la compresión y la edad del concreto., la relación del aumento de la resistencia a la compresión y la edad del concreto.

Figura 2. Relación del aumento de la resistencia a la compresión y la edad del concreto.



Fuente: (Vélez , sf)

La autora, resalta la importancia de curar el concreto, toda vez que aumenta la resistencia mecánica, reduce la fisuración por retracción, aumenta la resistencia a la abrasión y disminuye la permeabilidad al ataque químico, clasificando el curado en tres grupos, el simple, donde la estructura debe permanecer con más de 10°C y humedad total durante mínimo 7 días, el curado con alta resistencia inicial, cuya estructura debe permanecer con más de 10°C y humedad durante mínimo 3 días y un curado acelerado mediante vapor (Vélez , sf).

Rivera (2013), señala tres sistemas muy usados para curar el concreto, los dos primeros proporcionan la humedad requerida, con el fin de que el concreto desarrolle completamente su resistencia potencial y durabilidad. El tercero aumenta la temperatura por lo tanto se incrementa el desarrollo de resistencia, en la Tabla 1. Sistemas para curar el concreto, se describen los sistemas:

Tabla 1. Sistemas para curar el concreto

Sistema	Método
Medio húmedo mediante la aplicación de agua	Inmersión del elemento de concreto en agua; el uso de rociadores de agua; usando materiales que se mantengan saturados de agua como: aserrín, fique y algodón húmedos colocados sobre la estructura; empleando arena, tierra de contenido orgánico nulo y paja o heno húmedos sobre el concreto
Materiales sellantes	Láminas o membranas colocadas sobre el concreto para evitar la pérdida de humedad; o parafinando el elemento de hormigón., como la película plástica, el papel

Sistema	Método
	impermeable que funciona similar a la película plástica, los compuestos líquidos que forman membrana como las ceras, resinas y disolventes de alta volatilidad se pueden usar inmediatamente el agua libre ha desaparecido de la superficie.
Acelerar las reacciones	Aumentar la temperatura siempre y cuando se mantenga la humedad del concreto para que el cemento se hidrate más rápidamente. Se pueden utilizar mecheros o emplear paneles de energía solar para aumentar la temperatura ambiente. Con alguna frecuencia y en especial en clima frío, se usan quemadores de kerosene o gasolina con ventiladores para calentar recintos, estos calentadores deben contar siempre con buena ventilación

Fuente: (Rivera, 2013)

Euclid Group Toxement (2016), agrupa los métodos del curado del concreto, en la Tabla 2. Métodos del curado del concreto se describen los tres grupos, con su respectivo método:

Tabla 2. Métodos del curado del concreto

Clase	Método	Descripción
Húmedo	Inmersión	Inmersión total del elemento en agua; es ideal para estructuras como pavimentos (losas), pisos y techos horizontales.
	Riegos o rocíos de agua	A través de dispositivo giratorio, siendo efectivo cuando no hay problema que el agua escurra fuera del área por curar.
	Cubiertas con material absorbente	Consiste en colocar los materiales sobre la superficie del concreto (que no esté recién vaciado) y mantenerlos mojados para que la superficie del concreto permanezca húmeda. Se emplean mantas de algodón, alfombras, estopa (yute), espuma.
	Costales	Se colocan encima del material, siendo necesario tratarlos para evitar putrefacción.
	Arena o aserrín	Se coloca capas de 10 cm y se debe mantener el material lo más húmedo posible para evitar que el viento lo levante
	Paja o heno	Se hacen capas de al menos 15 cm y se cubren con una malla de alambre o una cubierta para evitar que el viento los arrastre.

Clase	Método	Descripción
	Concreto con formaletas	Las metálicas y las de fibra de vidrio evitan la pérdida de humedad cuando se mantiene húmeda la superficie exterior expuesta.
Tratamientos para evitar la pérdida de la humedad	Películas plásticas	Se coloca sobre la superficie del concreto para evitar la evaporación del agua, son livianas, recomendando utilizar el color blanco para climas cálidos y negra para climas fríos
	Membranas de curado	Son parafinas (ceras) o resinas, éstos compuestos deben cumplir con la norma ASTM C309. Se puede utilizar un líquido traslucido o con colores, en el caso de compuestos blancos, éstos aportan propiedades reflectivas y permiten efectuar la inspección visual sobre el cubrimiento de la superficie.
Otros métodos	Barreras de viento y sol	Se recomienda cuando la tasa de evaporación es alta y la superficie de exposición es grande, como losas de pavimentos de concreto
	Selladores o sellantes	Son compuestos que al entrar en contacto con el concreto forman una película que endurece y sella.
	Retardantes de evaporación	Son materiales que forman una película delgada que previene la humedad superficial.

Fuente: Guía básica para el curado del concreto (Euclid Group Toxement, 2016)

5.1.3 Diseño de muestras del concreto

El diseño de mezcla del concreto, es un procedimiento basado principalmente en lograr una resistencia a la compresión y una manejabilidad apropiada en una edad determinada, cumpliendo además, ciertas características (Argos, 2019).

“Las proporciones de la mezcla de concreto que cumpla con dichas características con los materiales disponibles, se logra mediante el sistema de prueba y error o el sistema de ajuste y reajuste”, el cual consiste en preparar una mezcla con unas proporciones iniciales y calculadas por diferentes métodos, a la cual se le realiza diferentes ensayos de control de calidad como “asentamiento, pérdida de manejabilidad, masa unitaria, tiempos de fraguado y resistencia a la compresión”, los resultados se deben comparar con las especificaciones, si distan las unas de las otras se debe reajustar las cantidades, elaborar nuevamente una mezcla, la cual se debe someter nuevamente a los ensayos de control de calidad (Argos, 2019).

Según Giraldo y Ramos (2017) el diseño de la mezcla, incluye la determinación de los materiales que se integrarán, como el concreto, el cemento, agregado fino y grueso, aditivos, los cuales deben obedecer a la durabilidad, es decir, la capacidad para resistir ante diferentes efectos y a la manejabilidad, conceptualizada como la capacidad para moldearse, así mismo a la resistencia a la compresión, definida como la capacidad para resistir cargas.

De los materiales que se utilizan para la mezcla, es necesario conocer: granulometría, módulo de finura de la arena, tamaño máximo de la grava, densidad aparente de la grava y de la arena, absorción del agrava y de la arena, masa unitaria compacta de la grava, humedad de los agregados inmediatamente antes de hacer las mezclas y densidad del cemento (Argos, 2019).

Así mismo, Argos (2019), señala que el procedimiento para el diseño de mezcla de concreto, inicia con el estudio de las especificaciones, la definición de la resistencia Compresión/flexión, la elección del asentamiento, la determinación $TM - TMN$, la estimación cantidad de aire y del contenido de agua, la definición de la relación agua/material cementante, el contenido de material cementante, la verificación de las granulometrías de los agregados, la estimación de agregado grueso y del fino, el ajuste por humedad y por último el ajuste del diseño de mezcla.

5.1.4 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión, se evalúa con un ensayo de resistencia a la compresión, el cual sigue un procedimiento, consistente primero, en emplear moldes cilíndricos de diámetro mayor o igual a 3 veces el tamaño máximo del agregado y altura 2 veces su diámetro (Rivera, 2013).

Según Rivera (2013), para el llenado de los moldes se debe lograr buena compactación, existiendo dos métodos, el apisonado y el vibrado, en el primero se emplea la varilla si el asentamiento es mayor a 7,5 cm, en el segundo se utiliza un vibrador si el asentamiento es menor a 2,5 cm, para asentamientos entre 2,5 y 7,5 cm puede usarse varilla o vibrador.

En la Tabla 3. Moldes cilíndricos más usados, se describen los moldes cilíndricos más usados, detallando el diámetro, altura, volumen y el mínimo de muestras por edad:

Tabla 3. Moldes cilíndricos más usados

Diámetro	Altura	Volumen	Mínimo de muestras por edad
15 cm	30 cm	5,3 dm ³	2
10 cm	20 cm	1,6 dm ³	3

Fuente: Rivera (2013) Tecnología del concreto y mortero

Los cilindros se llenan con hormigón en capas de igual volumen aproximadamente, el número de capas depende del método de compactación escogido, en la Tabla 5. Requisitos para la elaboración de cilindros, se detallan las capas para el llenado de cilíndricos, discriminando el diámetro, número de capas y método de compactación:

Tabla 4. Capas para el llenado de cilíndricos

Diámetro cilindro	Número de capas	Método de compactación
75 a 100 mm.	2	Varillado (diámetro= 10mm (3/8"), longitud=30cm)
150 mm.	3	Varillado (diámetro= 16mm (5/8"), longitud=60cm)
225 mm	4	Varillado (diámetro= 16mm (5/8"), longitud=60cm)
Hasta 225 mm	2	Vibrado

Fuente: Rivera (2013) Tecnología del concreto y mortero

En la Tabla 5. Requisitos para la elaboración de cilindros, se detallan los requisitos generales en la elaboración de cilindros, estableciendo los parámetros y la condición:

Tabla 5. Requisitos para la elaboración de cilindros

Parámetro	Condición
Vibrado interno en los cilindros más usados	Diámetro= 10cm : 1 inserción/capa Diámetro= 15cm : 2 inserciones/capa

Parámetro	Condición
Compactación	En el método apisonado cada capa debe compactarse con 25 golpes (excepto los cilindros de diámetro 225 mm que deben ser 50 golpes por capa) En el método de vibrado cuando el hormigón presente una superficie relativamente lisa
Almacenamiento de cilindros	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 entre 16 oC y 27 oC y donde se prevenga la pérdida de humedad de los mismos

Fuente: Rivera (2013) Tecnología del concreto y mortero

Para el ensayo de compresión, los cilindros deben sumergirse en agua 24+4 horas inmediatamente antes de la rotura para asegurar una condición uniforme de humedad, midiendo la resistencia con la siguiente fórmula (Rivera, 2013):

$$RC = P/A \text{ (6.14)}$$

Donde:

P = Carga máxima aplicada en kg(Newton).

A = Área de la sección transversal en cm² (mm²).

RC= Resistencia a la compresión del cilindro en kg/cm² (Mpa), con aproximación a 1 kg/cm² (0,1MPa). 10kg/cm² ≈ 1Mpa

5.2 MARCO DE ANTECEDENTES

A continuación, se presenta el marco de antecedentes, en el cual se relacionan estudios nacionales e internacionales que anteceden la investigación y que tienen relación con su objeto de estudio.

En el año 2018, estudiantes de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa-Perú, compararon el método de curado en especímenes de losas de concreto simple, simulando condiciones constructivas de obra en la ciudad de Arequipa, Perú, el objetivo de la investigación fue comparar la resistencia a la compresión que se obtiene cuando el concreto en losas es sometido a métodos de curado distintos como: curado con agua mediante inundación por riego continuo, curado con agua mediante inundación por riego discontinuo, curado con cobertura húmeda de geotextil y curado químico, con diferentes periodos de curado, 3 y 7 días, y para dos

relaciones agua/cemento; se concluyó que no curar el concreto da como resultado una baja resistencia a la compresión, con valores que oscilan entre el 45% y 50% de la resistencia de un concreto con curado óptimo, para los 3 métodos de curado por un periodo de 3 días para las resistencias de diseño 210 y 280 kg/cm², la rotura a los 28 días otorgó bajas resistencias a la compresión, con valores que oscilan el 85% del concreto patrón, para los 7 días, la mayor resistencia a la compresión, se presentó en el curado por riego continuo (Contreras & Velazco, 2018).

En el mismo año, estudiantes de la Universidad Privada del Norte, en Perú, investigaron sobre la utilización de curadores químicos como alternativa del curado tradicional del concreto, mejorando las propiedades en estado endurecido (resistencia a compresión), para lo cual estudiaron: a) Curado por inmersión continua en agua + cal, b) Curado por aspersion (tipo obra), c) Curado con curador químico y d) Expuesto a medio ambiente, según los resultados los curados químicos obtuvieron una resistencia que oscila entre el 89.40% y el 104.95%, el curado por aspersion presentó una resistencia de 95.41% y el método sin curado obtuvo un valor de 75.97% (Horna, 2018).

En el año 2016, estudiantes de la Universidad Católica de Bogotá, compararon la resistencia del concreto sometido a dos distintos métodos de curado, el de hidratación directa o inmersión vs exudación por recubrimiento en vinipel, mediante la prueba de resistencia a la compresión I.N.V. E – 410 – 07, desarrollando una metodología de tipo experimental a través del análisis comparativo de resistencia, como resultados encontraron que para los dos métodos de curado la resistencia fue creciente, la resistencia en el método de curado por hidratación directa, para los dos tipos de mezcla siempre fue mayor en comparación con el método de curado en vinipel, el trabajo concluye que el curado del concreto es fundamental y de especial cuidado, dando resistencia al concreto (Cárdenas & Robles, 2016).

En el mismo año, estudiantes de la Universidad Técnica de Ambato, estudiaron distintas técnicas de curado, tales como la membrana química, membrana plástica, membrana plástica con plástico negro, aspersion de agua, material saturado utilizando arena, mediante tela mojada con yute y en la cámara de curado en el laboratorio, concluyendo que las probetas expuestas al curado con agua permanente son las de mayor resistencia y que las probetas que no tuvieron ningún tipo de curado alcanzaron una resistencia del 63,49% (Manobanda, 2013).

El tema también fue investigado por estudiantes de la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, donde plantearon determinar la influencia de las propiedades mecánicas en los esfuerzos a compresión de los tiempos de aplicación de productos comerciales tipo membrana para el curado del concreto, encontrando que los curadores químicos influyen directamente en la resistencia temprana del

concreto, la cual no llega a la curva de resistencia debido a la falta de agua para la hidratación total, se obtuvo mayor eficiencia en el curado del concreto con agua en superficies horizontales y en el curado con productos químicos o tipo membrana es estructuras verticales como las columnas y muros, como conclusión resalta que los concretos deben ser curados para que estos en el tiempo con su madurez alcancen las resistencias para las que fueron diseñados, procurando una vida útil estable (Beltrán, 2015).

Otra investigación relacionada, fue sobre las diferencias en la resistencia de concretos sujetos a curados húmedos y al ambiente en clima cálido subhúmedo, encontrando una diferencia en la resistencia del concreto cuando es curado al ambiente durante los doce meses de un año, siendo mayores las resistencias de aquellos que se curaron en invierno, para el desarrollo de los objetivos se desarrolló una metodología experimental, con pruebas de resistencia y contraste para diferentes edades (Solís, Moreno, & Vázquez, 2011).

5.3 MARCO LEGAL

El marco legal que soporta el proyecto, relaciona las Normas Técnicas Colombianas alusivas a los ensayos de resistencia a la compresión del concreto y el objeto de la investigación.

En la Tabla 6. Marco legal, se presenta la matriz del marco legal, en la primera columna se relaciona la norma, en la segunda columna el título y en la última la descripción e importancia en el proyecto.

Tabla 6. Marco legal

Norma	Título	Descripción
NTC 396	Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto.	Establece el método de ensayo, materiales y equipos, ésta norma se aplicó en el ensayo de asentamiento del concreto
NTC 550	Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra	Establece los requisitos para la elaboración, curado protección y transporte de los espécimen de ensayo, se aplicó para el ensayo de

Norma	Título	Descripción
		medición de la resistencia a la compresión del concreto
NTC 673	Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes	Regula el ensayo para determinar la resistencia a la compresión. Se aplicó en el ensayo para medir la resistencia a la compresión del concreto, siguiendo los lineamientos de la carga axial a los cilindros para determinar la ocurrencia de la falta.
NSR10	Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10 - Capítulo C.	Establece que el concreto debe curarse, para que desarrolle todas sus propiedades, buscando además que no se afecte la resistencia requerida ni el funcionamiento del elemento o la estructura, en la investigación fue aplicable en la determinación de los tipos de curado
INVE – 122-07	Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo, roca y mezclas de suelo – agregado.	Determina el contenido del agua en un material, aplicable en el diseño de la mezcla.
INVE – 123-07	Análisis granulométrico de suelos por tamizado.	Determina la distribución cuantitativa de los tamaños de las partículas, aplicable en el diseño de la mezcla.
INVE – 133-07	Equivalente de arena de suelos y agregados finos.	Determina la proporción relativa del contenido de polvo fino o arcilloso en los agregados, aplicable en el diseño de la mezcla
INVE – 212.-07	Ensayo de materia orgánica.	Describe los dos procedimientos para determinar la presencia de materia orgánica, aplicable en el diseño de la mezcla
INVE – 217.-07	Densidad Bulk (peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados compactados o suelos.	Establece el método para determinar el peso unitario y porcentaje de vacíos de los agregados, aplicable en el diseño de la mezcla
INVE – 218.-07	Resistencia al desgaste de los agregados de tamaños menores de 3.75 mm por	Regula el procedimiento para determinar la resistencia al

Norma	Título	Descripción
	medio de la máquina de los ángeles.	desgaste de agregados, aplicable en el diseño de la mezcla
INVE – 219.-07	Resistencia al desgaste de los agregados de tamaños mayores de 19 mm por medio de la máquina de los ángeles.	Regula el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de agregados, aplicable en el diseño de la mezcla
INVE – 222.-07	Gravedad específica y absorción de los agregados finos.	Establece el procedimiento para determinar la gravedad específica y absorción de los agregados finos, aplicable en el diseño de la mezcla
INVE – 223.-07	Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos.	Establece el procedimiento para determinar la gravedad específica y absorción de los agregados gruesos, aplicable en el diseño de la mezcla
INVE – 402-07	Elaboración y curado en el laboratorio de muestras de concreto para ensayos de compresión y flexión	Establece el procedimiento para la elaboración de curado de muestras de concreto en el laboratorio, aplicable para seguir los requisitos de la dosificación de la mezcla, evaluación, correlaciones de resultados y elaboración de los especímenes
INVE – 410-07	Resistencia a la compresión de cilindros de concreto	Establece los parámetros para el ensayo a la determinación de la resistencia a la compresión, aplicable para el procedimiento de dosificación, mezclado y colocación del concreto

Fuente: trabajo investigativo

5.4 MARCO CONCEPTUAL

La investigación plantea el estudio de la resistencia del concreto con diferentes métodos de curado como el antisol, el plástico y el agua, siendo necesario definir conceptos que se tratan en el proyecto investigativo.

Aditivo: material que es diferente al agua, de los agregados o del cemento hidráulico, que se emplea como componente del concreto, se añade antes o durante la mezcla para modificar sus propiedades (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Agua: puede ser por inmersión total del elemento en agua, siendo efectivo para estructuras como pavimentos (losas), pisos y techos horizontales; por riesgos o rocíos de agua, efectivo para altas temperaturas (Euclid Group Toxement, 2016).

Agregado: material granular, como arena, grava, piedra triturado y escoria de hierro, que se utiliza como medio cementante para formar concreto (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Antisol: es una emulsión acuosa de parafina que forma, al aplicarse sobre el concreto o mortero fresco, una película impermeable que evita la pérdida prematura de humedad, para garantizar un completo curado del material. Como ventajas de este método de curado, se señala el impedimento al resecamiento prematuro del concreto, solo se aplica una vez, disminuyendo los costos del curado, no contiene solventes, viene listo para usar y es de fácil aplicación y ayuda a controlar la fisuración en grandes áreas expuestas al sol y al viento (Sika, 2019).

Concreto: mezcla de cemento, agregado fino, agregado grueso agua, puede adicionarse aditivos (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Curado: método por el cual se endurece el concreto, adquiriendo resistencia (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Estructura: ensamblaje de elementos, diseñado para soportar cargas gravitacionales y resistir fuerzas horizontales (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Hormigón: mezcla homogénea, compuesta por una pasta adhesiva de cemento y agua que mantiene adheridas un conjunto de partículas de materiales, denominados agregados (Manobanda, 2013).

Plástico: luego del acabado se procede a instalar una hoja de plástico, disminuyendo la pérdida de agua, recubriendo la superficie (Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, 2005).

Resistencia a la compresión del concreto: es la medida más común de desempeño de las estructuras, se mide a través de probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión, calculada a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en mega pascales (MPa) (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2006).

Resistencia requerida: es la resistencia que el elemento debe tener para resistir las mayores cargas y las fuerzas internas (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Sistema de resistencia ante fuerzas sísmicas: porción de la estructura diseñada para resistir las fuerzas sistemas (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Tiempo de curado acumulado: es la suma de períodos durante los cuales la temperatura del aire en la cual se encuentra el concreto no supera los diez grados (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

6. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN Y TIPO DE ESTUDIO

El estudio “Afectación de la resistencia a la compresión del concreto ante diferentes métodos de curados como el antisol, el plástico, el agua y una mezcla sin presencia de curado”, se desarrolla bajo una investigación con enfoque experimental, según Rodríguez (2005), ésta se presenta mediante la manipulación de una variable experimental, en condiciones controladas, para descubrir el modo o la causa por la cual se produce una situación en particular. Los investigadores determinan las variables de estudio, las cuales controlan y observan el efecto.

La investigación experimental sigue las siguientes etapas: a) Presencia de un problema, b) identificación y definición del problema, c) Definición de hipótesis y variables, d) Diseño del plan experimental, e) Discusión de los resultados y conclusiones, f) Informe de la investigación (Rodríguez, 2005).

Para la investigación, se utiliza como herramienta la comparación, a partir de la afectación de la resistencia a la compresión del concreto ante diferentes métodos de curados como el antisol, el plástico y el agua y una mezcla sin presencia de curado:

Curado con material sellante: El material sellante que va a ser empleado es antisol blanco, se trata de una fórmula en estado líquido, que al ser aplicada al concreto y secarse, forma una especie de película o sello que protege el concreto.

- Curado con película de plástico: El concreto se cubre por completo con una película plástica que no supera un espesor de 0,1mm. La película que se va a usar es transparente, pues al ser un material traslucido, refleja los rayos del sol y calienta el concreto para aportar la temperatura necesaria a la vez que lo protege de los factores de la intemperie que pueden afectar la resistencia.
- Inmersión en agua: se sumerge el concreto completamente en agua, después de que termine la etapa de fraguado, este método es más utilizado para estudios e investigación del concreto.

6.2 MATRIZ DE DISEÑO METODOLÓGICO

La matriz de diseño metodológico se detalla en la Tabla 7. Matriz de diseño metodológico, en la cual se presenta para cada objetivo específico la técnica, es decir las actividades realizadas para lograr el objetivo, bajo la normatividad, en última columna se relacionan los instrumentos utilizados:

Tabla 7. Matriz de diseño metodológico

Objetivo	Técnica	Instrumentos
<p>Evaluar los métodos de curado del concreto con antisol, plástico, agua y una mezcla sin presencia de curado, fallados en edades de 3, 7, 14 y 28 días.</p>	<p>Elaborar los cilindros para cada método de curado</p> <p>Ensayo para determinar la resistencia a la compresión</p> <p>Cálculos de la resistencia a la compresión</p>	<p>Moldes cilíndricos de 15 centímetros de diámetros por 30 centímetros de longitud.</p> <p>Varilla para el método de apisonado de los cilindros, herramientas pequeñas, recipientes de muestreo, dispositivos de medición</p> <p>Máquina de ensayo Balanza Termómetro Equipo misceláneo</p> <p>Herramienta estadística</p>
<p>Establecer el comportamiento diferencial entre los métodos de curado utilizados y sus posibles aplicaciones</p>	<p>Análisis de los indicadores de resistencia a la compresión</p>	<p>Herramienta estadística</p>

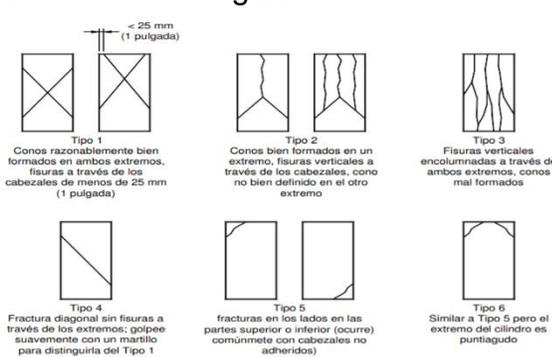
Fuente: trabajo investigativo

6.3 FASES Y RESULTADOS

En la Tabla 8. Fases y resultados se detallan las fases y resultados del proyecto de investigación:

Tabla 8. Fases y resultados

Fase	Resultado
<p>Consulta de información secundaria sobre concretos y los métodos de curado</p>	<p>Marco referencial del proyecto, diseño de la investigación.</p> <p>Se realizó revisión de bibliografía en diferentes bases de datos, permitiendo la construcción del marco referencial del proyecto, además se consultaron trabajos previos realizados sobre métodos de curados.</p>
<p>Diseño de mezcla</p>	<p>El diseño de la mezcla se obtuvo del laboratorio Asprecon.</p> <p>El laboratorio Asprecon, empresa dedicada a asesorías y control de calidad en obras a través de ejecución de ensayos de laboratorio (Asprecon Ingeniería S.A.S., 2019), aportó una mezcla, la cual ha sido aprobada de acuerdo a los resultados de diferentes ensayos, donde se ha evidenciado que llega a la resistencia diseñada, teniendo en cuenta las características que deben tener los agregados como son granulometría, tamaño máximo de la grava, módulo de finura de la arena, densidad aparente de la grava y arena, porcentaje de absorción de la grava y de la arena, porcentaje de humedad de los agregados, densidad y peso específico de los agregados y densidad del cemento.</p> <p>La dosificación del diseño de la mezcla garantiza la manejabilidad de la misma, la economía al elaborar el concreto, pues no es del todo correcto que se use más cemento del necesario para ganar resistencia, dado que grandes volúmenes de concreto podrían afectar la utilidad de los proyectos y la durabilidad del concreto.</p> <p>Para el diseño de la mezcla, se inicia por escoger los agregados para el concreto, los cuales deben obedecer a las cantidades y necesidades de manejabilidad, resistencia y dureza, siguiendo valores mínimos en cuanto a relación máxima de agua/cemento, contenido mínimo de cemento, resistencia mínima, manejabilidad mínima, tamaño máximo del agregado y el contenido de aire (Muciño & Lozada, 2017).</p>

Fase	Resultado
Fabricación de cilindros	<p>Se elabora la mezcla de concreto de forma manual en concretadora, controlando las cantidades y pesos de los agregados, cemento y agua según el diseño de mezcla.</p> <p>Los cilindros se elaboraron en 5 mezclas, dada la capacidad de la concretadora y disponibilidad de las camisas o moldes.</p> <p>Las mezclas se elaboraron en días diferentes, cada día se elaboraron 20 cilindros, de los cuales 5 se sometieron a curado en cuarto de curado, 5 a curado con plástico, 5 a curado con antisol y los últimos 5 se dejaron sin curar, logrando la comparación entre cada mezcla y no cada mezcla sometida a un solo método de curado, pues al ser una mezcla elaborada manualmente podía cambiar sus propiedades y no ser comparables entre sí.</p> <p>Se elaboran los cilindros para cada método de curado, para ser fallados en 4 edades: 3, 7, 14 y 28 días. Para cada edad se elaboran 5 cilindros.</p>
Evaluación de resultados y sistematización de los mismos	<p>Se realizan pruebas de ensayo compresión</p> <p>Se analizan los resultados de las diferentes pruebas con base a la NTC 2275</p>
Ensayos y tipos de falla	<p>Los cilindros elaborados se fallaron en el laboratorio Asprecon, en 4 edades: 3, 7, 14 y 28 días.</p> <p>Los tipos de falla se estandarizan o se definen por la norma NTC 673 de la siguiente manera</p>  <p>Figura 2 Esquema de los modelos de fractura típicos</p>
Presentación del informe.	Estructura del informe final y presentación de resultados

Fuente: trabajo investigativo

7. RESULTADOS

La presentación de resultados se realiza de forma tal que responda a los objetivos específicos de la investigación, discriminándolos en dos subcapítulos, en el primero se describe la evaluación de los ensayos a la compresión de los diferentes métodos del curado del concreto, en este caso antisol, plástico, agua y una mezcla sin presencia de curado, fallados en edades de 3, 7, 14, 28 días, presentando la resistencia promedio para cada edad de falla y cada método de curado, en el segundo subcapítulo se detallan los indicadores de resistencia a la compresión.

7.1 Evaluación de los métodos de curado del concreto

Se realizó la evaluación de los métodos de curado del concreto con antisol, plástico, agua y una mezcla sin presencia de curado, fallados en edades de 3, 7, 14 y 28 días.

Para cada edad investigada, se elaboraron 5 cilindros por cada método de curado, utilizando el mismo tipo de mezcla.

En el siguiente aparte se muestran las probetas realizadas, a las cuales se les estableció un código de reconocimiento, dependiendo del método y periodo de curado, también muestra las dimensiones de las probetas y el resultado de la resistencia obtenida por parte de las probetas ante los diferentes métodos de curado.

Para el reconocimiento de cada cilindro se realizó una codificación basada en el método de curado al que va a ser expuesto, la edad a la que se va a fallar el cilindro y numeración para controlar la cantidad de cilindros. Para el curado en agua el código es AG, para plástico PL, para antisol AS y la muestra sin curado SC. La numeración siguiente al método de curado es la edad, que corresponde a 3, 7, 14 y 28 días. El último número corresponde a una numeración de control para conocer la cantidad de cilindros que se elaboran para cada método.

En la Tabla 9. Resultados de ensayo a la compresión curado en agua se detallan los resultados del ensayo a la compresión a diferentes edades para un curado en agua, especificando código, edad, diámetro, altura, resistencia obtenida y tipo de falla.

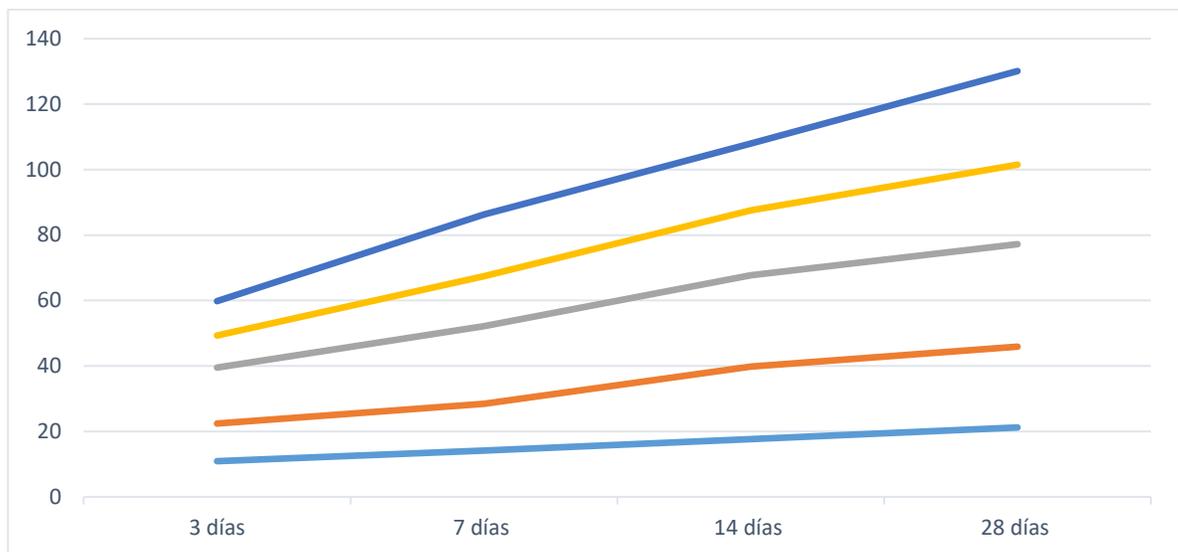
Tabla 9. Resultados de ensayo a la compresión curado en agua

Código	Edad (días)	Diámetro (m)	Altura (m)	Resistencia obtenida (Mpa)	Tipo de falla
AG-3-01	3	0,15	0,30	10,9	2
AG-3-02	3	0,15	0,30	11,5	4
AG-3-03	3	0,15	0,30	17,1	3
AG-3-04	3	0,15	0,30	9,8	3
AG-3-05	3	0,15	0,30	10,5	5
AG-7-06	7	0,15	0,30	14,1	4
AG-7-07	7	0,15	0,30	14,3	5
AG-7-08	7	0,15	0,30	23,8	4
AG-7-09	7	0,15	0,30	15,2	5
AG-7-10	7	0,15	0,30	18,9	4
AG-14-11	14	0,15	0,30	17,6	5
AG-14-12	14	0,15	0,30	22,2	4
AG-14-13	14	0,15	0,30	27,9	4
AG-14-14	14	0,15	0,30	19,8	4
AG-14-15	14	0,15	0,30	20,5	4
AG-28-16	28	0,15	0,30	21,2	5
AG-28-17	28	0,15	0,30	24,7	4
AG-28-18	28	0,15	0,30	31,3	5
AG-28-19	28	0,15	0,30	24,3	4
AG-28-20	28	0,15	0,30	28,6	4

Fuente: trabajo investigativo

En la Figura 3. Ensayo a la compresión curado en agua a diferentes edades, se visualizan los resultados del ensayo a la compresión a diferentes edades para un curado en agua.

Figura 3. Ensayo a la compresión curado en agua a diferentes edades



Fuente: trabajo investigativo

Para cada edad se registraron 5 pruebas con una resistencia esperada de 21 Mpa, encontrando que a los 3 días de edad ninguna muestra supera la resistencia esperada, a los 7 días la muestra AG-7-08 supera dicha resistencia, a los 14 días dos muestras superar la resistencia esperada y a los 28 días las cinco muestras son superiores a 21 Mpa.

En la Tabla 10. Resultados de ensayo a la compresión curado en plástico se describen los resultados del ensayo a la compresión a diferentes edades para un curado con plástico, especificando código, edad, diámetro, altura, resistencia obtenida y tipo de falla.

Tabla 10. Resultados de ensayo a la compresión curado en plástico

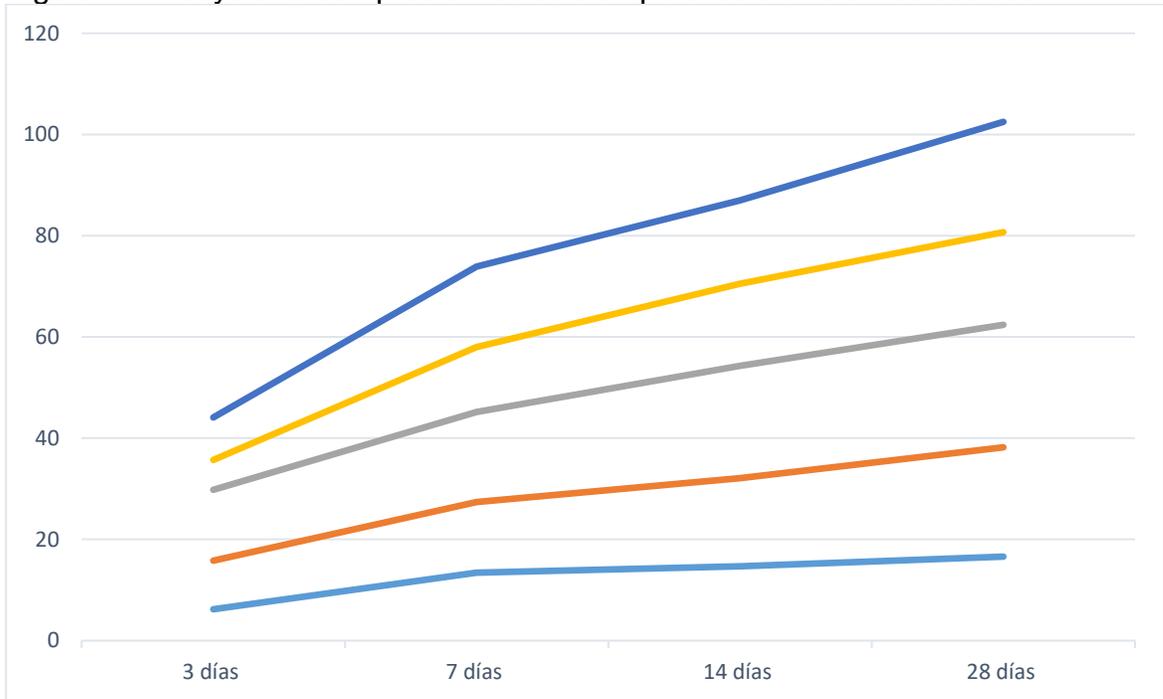
Código	Edad (días)	Diámetro (m)	Altura (m)	Resistencia obtenida (Mpa)	Tipo de falla
PL-3-01	3	0,15	0,30	6,2	2
PL-3-02	3	0,15	0,30	9,6	4
PL-3-03	3	0,15	0,30	14	4
PL-3-04	3	0,15	0,30	5,9	5
PL-3-05	3	0,15	0,30	8,4	4
PL-7-06	7	0,15	0,30	13,4	5
PL-7-07	7	0,15	0,30	14	5
PL-7-08	7	0,15	0,30	17,8	4
PL-7-09	7	0,15	0,30	12,8	4
PL-7-10	7	0,15	0,30	15,9	3
PL-14-11	14	0,15	0,30	14,7	5

Código	Edad (días)	Diámetro (m)	Altura (m)	Resistencia obtenida (Mpa)	Tipo de falla
PL-14-12	14	0,15	0,30	17,4	4
PL-14-13	14	0,15	0,30	22,2	4
PL-14-14	14	0,15	0,30	16,2	4
PL-14-15	14	0,15	0,30	16,5	4
PL-28-16	28	0,15	0,30	16,6	5
PL-28-17	28	0,15	0,30	21,6	4
PL-28-18	28	0,15	0,30	24,2	4
PL-28-19	28	0,15	0,30	18,3	4
PL-28-20	28	0,15	0,30	21,8	4

Fuente: trabajo investigativo

En la Figura 4. Ensayo a la compresión curado en plástico a diferentes edades, se observan los resultados del ensayo a la compresión a diferentes edades para un curado con plástico.

Figura 4. Ensayo a la compresión curado en plástico a diferentes edades



Fuente: trabajo investigativo

En el ensayo del curado del concreto con el método de plástico, para las edades de 3 y 7 días ninguna muestra supero la resistencia esperado (21 Mpa), a los 14 días la muestra tres superó la resistencia esperado, para la edad de 28 días tres de las cinco muestras superaron los 21 Mpa.

Los resultados del ensayo a la compresión a diferentes edades para un curado con antisol, se presentan en la Tabla 11. Resultados de ensayo a la compresión curado con antisol, donde se especifica el código, edad, diámetro, altura, resistencia obtenida y tipo de falla.

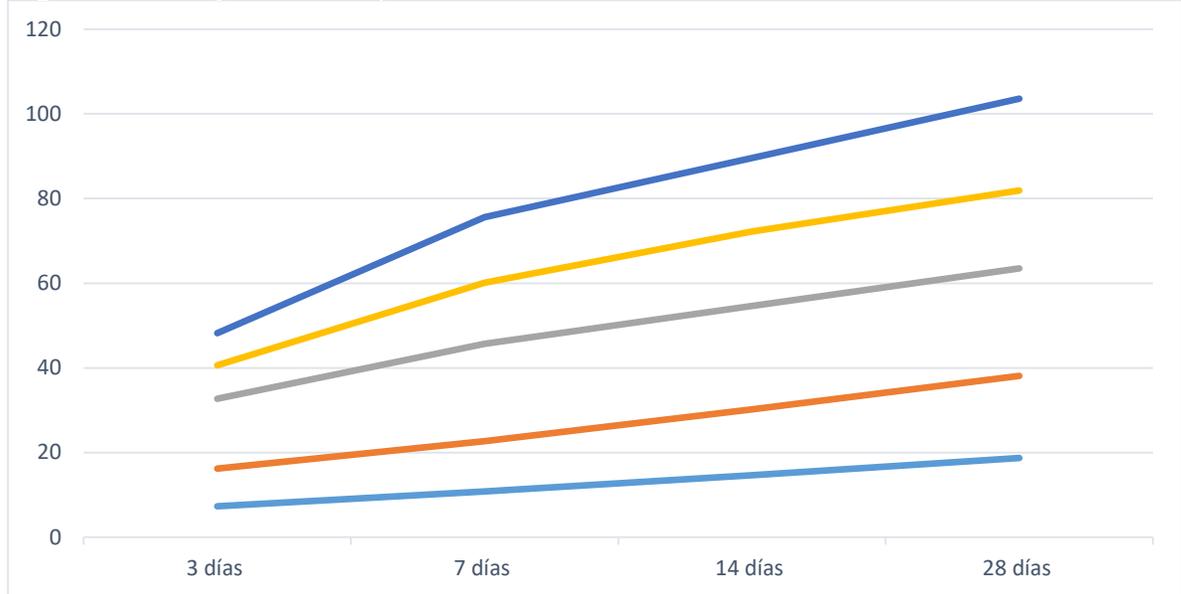
Tabla 11. Resultados de ensayo a la compresión curado con antisol

Código	Edad (días)	Diámetro (m)	Altura (m)	Resistencia obtenida (Mpa)	Tipo de falla
AS-3-01	3	0,15	0,30	7,3	2
AS-3-02	3	0,15	0,30	8,9	4
AS-3-03	3	0,15	0,30	16,5	3
AS-3-04	3	0,15	0,30	7,9	4
AS-3-05	3	0,15	0,30	7,6	5
AS-7-06	7	0,15	0,30	10,8	5
AS-7-07	7	0,15	0,30	11,9	5
AS-7-08	7	0,15	0,30	23	5
AS-7-09	7	0,15	0,30	14,4	4
AS-7-10	7	0,15	0,30	15,5	5
AS-14-11	14	0,15	0,30	14,6	4
AS-14-12	14	0,15	0,30	15,6	5
AS-14-13	14	0,15	0,30	24,4	5
AS-14-14	14	0,15	0,30	17,6	3
AS-14-15	14	0,15	0,30	17,4	5
AS-28-16	28	0,15	0,30	18,7	5
AS-28-17	28	0,15	0,30	19,4	4
AS-28-18	28	0,15	0,30	25,4	4
AS-28-19	28	0,15	0,30	18,4	4
AS-28-20	28	0,15	0,30	21,7	4

Fuente: trabajo investigativo

En la Figura 5. Ensayo a la compresión curado con antisol a diferentes edades, se observan los resultados del ensayo a la compresión a diferentes edades para un curado con antisol.

Figura 5. Ensayo a la compresión curado con antisol a diferentes edades



Fuente: trabajo investigativo

En el método de curado con antisol, la primera prueba que alcanza la resistencia esperada, es la AS-7-08 a los 7 días de edad, la única que también supera los 21 Mpa a los 14 días, a los 28 días de edad, dos de las cinco muestras superan la resistencia esperada.

En la Tabla 12. Resultados de ensayo a la compresión para una mezcla sin curado, se describen los resultados del ensayo a la compresión a diferentes edades para una mezcla sin curado:

Tabla 12. Resultados de ensayo a la compresión para una mezcla sin curado

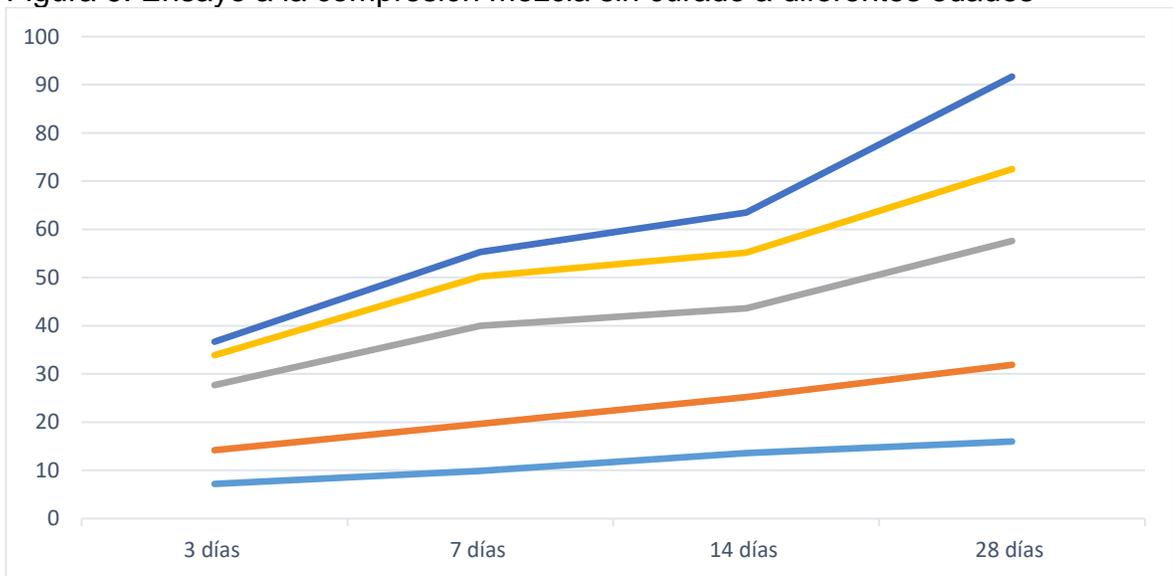
Código	Edad (días)	Diámetro (m)	Altura (m)	Resistencia obtenida (Mpa)	Tipo de falla
SC-3-01	3	0,15	0,30	7,2	4
SC-3-02	3	0,15	0,30	7	4
SC-3-03	3	0,15	0,30	13,5	4
SC-3-04	3	0,15	0,30	6,2	3
SC-3-05	3	0,15	0,30	2,8	5
SC-7-06	7	0,15	0,30	9,9	5
SC-7-07	7	0,15	0,30	9,8	3
SC-7-08	7	0,15	0,30	20,3	4
SC-7-09	7	0,15	0,30	10,2	4
SC-7-10	7	0,15	0,30	5,1	5

Código	Edad (días)	Diámetro (m)	Altura (m)	Resistencia obtenida (Mpa)	Tipo de falla
SC-14-11	14	0,15	0,30	13,6	4
SC-14-12	14	0,15	0,30	11,6	4
SC-14-13	14	0,15	0,30	18,4	5
SC-14-14	14	0,15	0,30	11,6	5
SC-14-15	14	0,15	0,30	8,3	4
SC-28-16	28	0,15	0,30	16	5
SC-28-17	28	0,15	0,30	15,9	4
SC-28-18	28	0,15	0,30	25,7	4
SC-28-19	28	0,15	0,30	14,9	4
SC-28-20	28	0,15	0,30	19,2	4

Fuente: trabajo investigativo

En la Figura 6. Ensayo a la compresión mezcla sin curado a diferentes edades, se observan los resultados del ensayo a la compresión de la mezcla sin ningún método de curado.

Figura 6. Ensayo a la compresión mezcla sin curado a diferentes edades



Fuente: trabajo investigativo

En la una mezcla de concreto sin ningún tipo de curado, solo la muestra SC-28-18 superó la resistencia esperada a los 28 días de edad.

En la Tabla 13. Resistencia promedio para cada edad de falla y método de curado se muestran los promedios de las resistencias obtenidas de acuerdo a las edades de las probetas.

Tabla 13. Resistencia promedio para cada edad de falla y método de curado

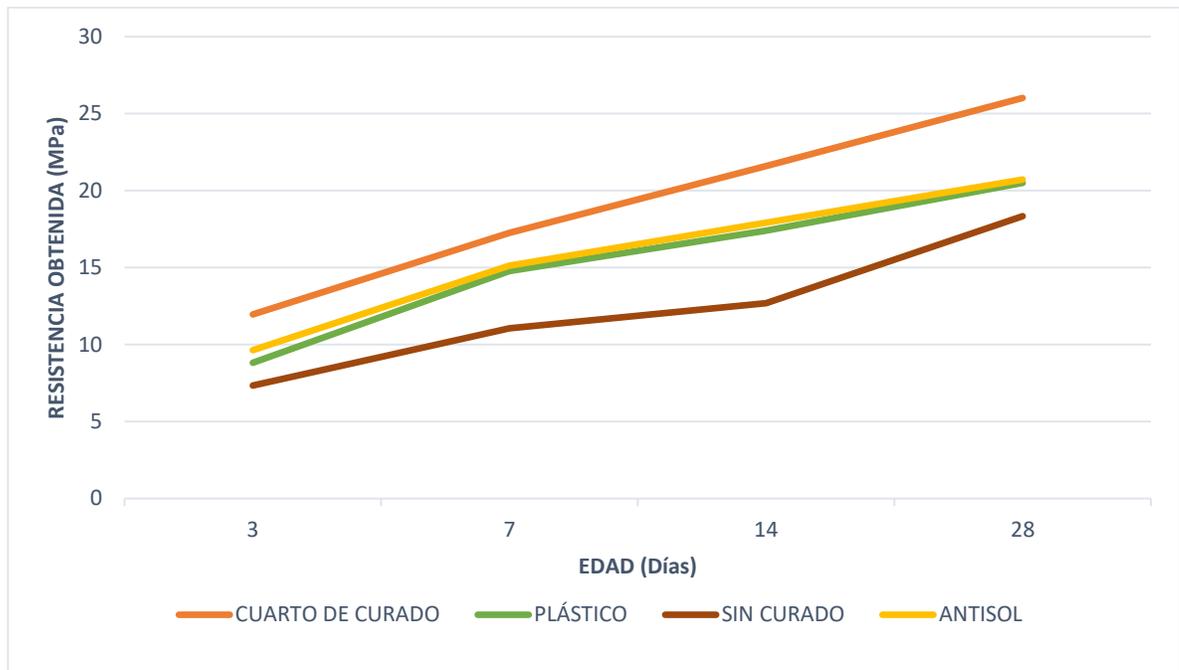
Promedio resistencia a la compresión (Mpa)				
Edad	Cuarto de curado	Plástico	Antisol	Sin curado
3	11,96	8,82	9,64	7,34
7	17,26	14,78	15,12	11,06
14	21,6	17,4	17,92	12,7
28	26,02	20,5	20,72	18,34

Fuente: trabajo investigativo

De acuerdo a la resistencia promedio para cada edad de falla y método de curado, se puede observar que la resistencia más alta, teniendo en cuenta la suma de las resistencias hasta los 28 días, son las que se sometieron al método de cuarto de curado, además estas probetas son las únicas que alcanzan la resistencia esperada, continuando con las que fueron sometidas al método de curado de antisol, seguidas de las del curado con plástico y por último la mezcla sin curado.

Para visualizar los resultados, se presenta en la Figura 7. Variación de la resistencia de acuerdo a la edad de las probetas la variación de la resistencia de acuerdo a la edad de las probetas:

Figura 7. Variación de la resistencia de acuerdo a la edad de las probetas



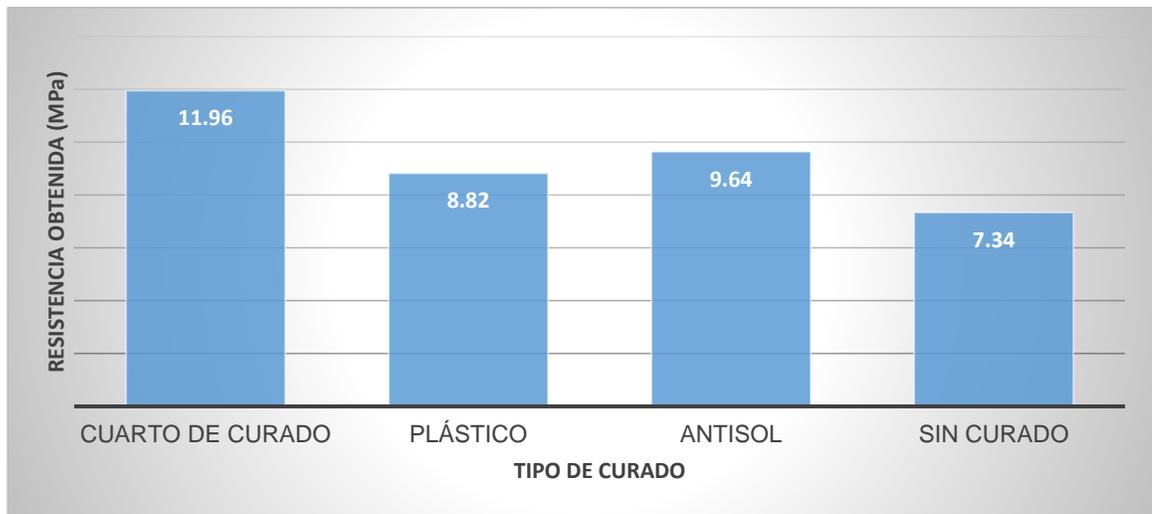
Fuente: trabajo investigativo

En la figura 5, se observa el comportamiento de la resistencia de las probetas según el tipo de curado y las edades a las cuales se ensayan. Como se mencionó anteriormente, se puede apreciar que solo el cuarto de curado cumple con la resistencia esperada, también que los promedios de las resistencias para las probetas sometidas a curado con antisol y plástico son muy parecidas, manteniéndose por encima las que fueron sometidas a antisol.

En el siguiente aparte, se compara la resistencia de las probetas de concreto hidráulico ante los diferentes métodos de curado para cada edad.

En la Figura 8. Resistencia a los tres días de edad, se visualiza la resistencia a los tres días de edad:

Figura 8. Resistencia a los tres días de edad



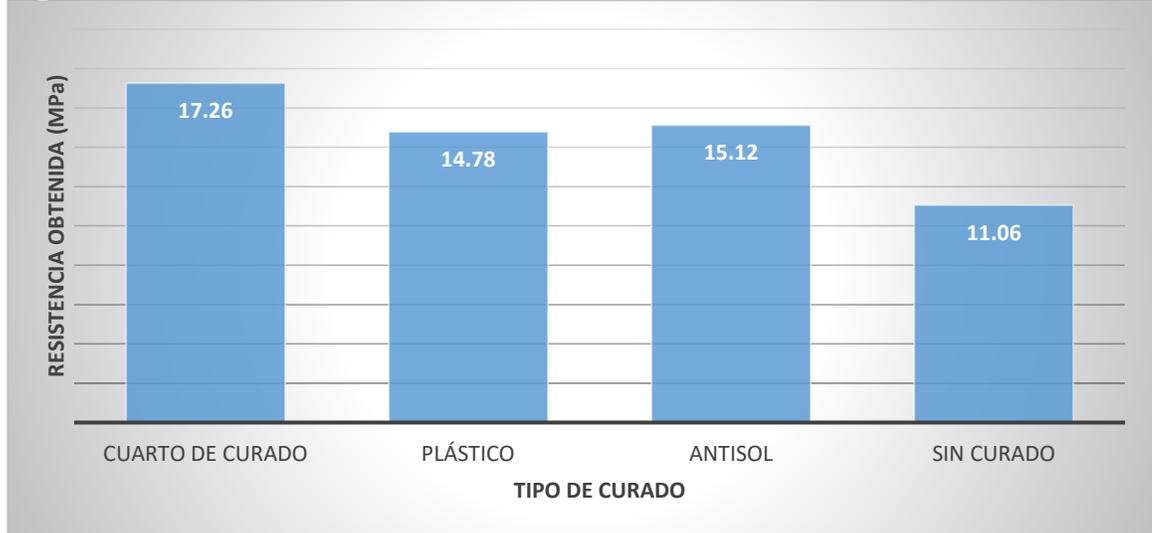
Fuente: trabajo investigativo

A los tres días de curado, se observa que el método de cuarto de curado presenta mayor resistencia, seguida del curado con antisol, curado con plástico, y con menos resistencia la mezcla sin curado.

La resistencia de las probetas para la edad de 3 días no es muy representativa, aunque se puede observar que, con tan solo 3 días, las probetas en condiciones de cuarto de curado alcanzan el 56.95% de la resistencia, es decir, alcanzan más de la mitad de la resistencia esperada, mientras que los resultados obtenidos en los especímenes de probetas curadas en plástico, antisol y sin curado resultan no tener un buen comportamiento en la resistencia a la compresión.

La resistencia a los 7 días de curado, se visualiza en la Figura 9. Resistencia a los siete días de edad:

Figura 9. Resistencia a los siete días de edad



Fuente: trabajo investigativo

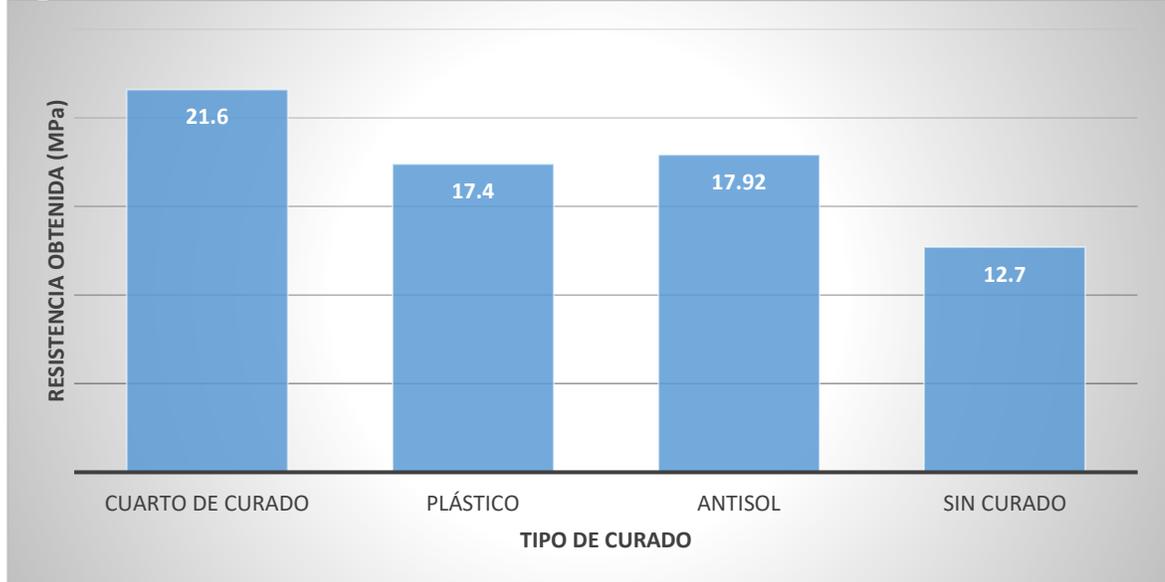
A los siete días de edad del concreto, los métodos de curado presentan similitud de comportamiento que a los tres días.

Para el periodo de curado de 7 días, se observa que las probetas adquieren una mayor ganancia en resistencia a la compresión, sin embargo, se puede apreciar que el comportamiento de la resistencia en general se mantiene en el mismo orden por tipo de curado. Los resultados de la resistencia para las probetas en condiciones de curado de plástico y antisol son más similares que en la edad de 3 días.

En cuanto a las probetas en cuarto de curado su resistencia se encuentra en el 82.19% de la resistencia esperada y su resistencia aumentó en un 25.24% con respecto a la edad anterior, siendo superior a otros trabajos, como el realizado por Beltrán (2015), donde se reportó un 54,5% con curado con agua a los 7 días de edad.

La resistencia a los 14 días de curado, se aprecia en la Figura 10. Resistencia a los 14 días de edad:

Figura 10. Resistencia a los 14 días de edad



Fuente: trabajo investigativo

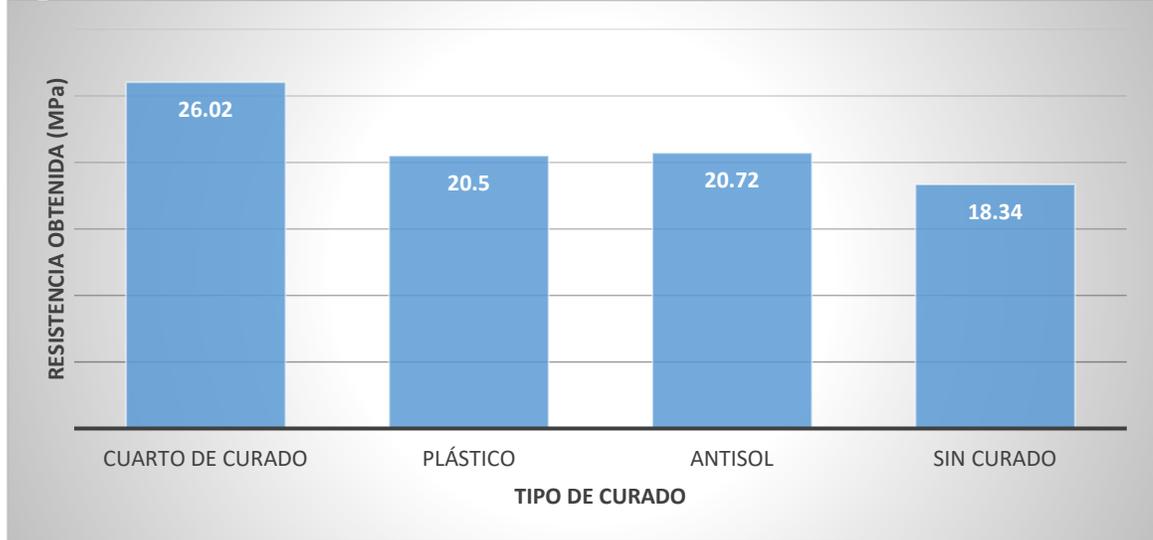
A los 14 días de edad del concreto, se presenta una variación similar a la resistencia resultante a los 3 y 7 días.

En la figura 4 se puede evidenciar que las probetas sometidas al cuarto de curado ya alcanzaron la resistencia esperada, la cual se encuentra en 102.86%; es decir que para esta edad se alcanzó un 2.86% más de lo esperado, respecto al trabajo de Beltrán (2015) es superior, pues ante el curado en agua a los 14 días, se encontró una resistencia del 65%.

Se puede evidenciar que, a la edad de 14 días, las probetas que no fueron sometidas a ningún tipo de curado su resistencia comparada con la edad anterior y con las resistencias obtenidas para los otros tipos de curado es muy pequeña, ya que solo aumento 1.64 Mpa.

En la Figura 11. Resistencia a los 28 días de edad, se visualiza la resistencia a los 28 días de edad:

Figura 11. Resistencia a los 28 días de edad



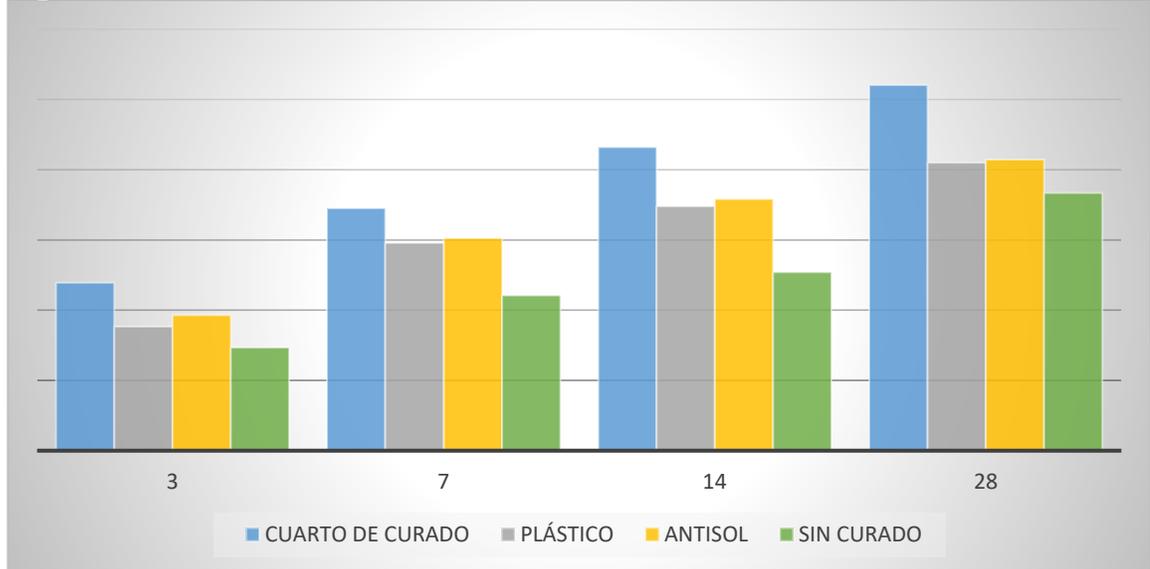
Fuente: trabajo investigativo

Para esta edad, la resistencia de las probetas sometidas al cuarto de curado se encuentra en un 123.90% de la resistencia esperada, lo que significa que alcanzó 23.90% más de lo esperado, guardando similitud con el estudio de Cárdenas y Robles (2016), donde a los 28 días de edad, el método de curado por hidratación directa fue mayor en un 19.76% de la resistencia esperada, el resultado es mayor al reportado por Contreras y Velazco (2018), donde se obtuvo una resistencia a la compresión del 96.46%.

En cuanto a las probetas sometidas a curado con plástico y antisol se reduce aún más la brecha existente entre la diferencia de sus resistencias, como se puede observar en la figura, donde la resistencia para las probetas curadas en plástico es de 20.5 Mpa y con antisol es de 20.72 Mpa, cabe resaltar que esta diferencia en la resistencia de las probetas curadas en plástico y antisol en todas las edades siempre ha sido baja, pero como se mencionó anteriormente para esta edad fue es más baja con respecto a las demás, respecto al estudio de Cárdenas y Robles (2016) donde evaluó el método de curado por exudación en recubrimiento de vinipel, tampoco alcanzó el 100% de la resistencia esperada.

En la Figura 12. Resistencia a diferentes días de edad, se aprecia la resistencia para las diferentes edades:

Figura 12. Resistencia a diferentes días de edad



Fuente: trabajo investigativo

En general, como se puede observar en la figura 6 existe una marcada diferencia entre las probetas que fueron sometidas al cuarto de curado con respecto a las demás, siendo estas las que presentan mayor resistencia, coherente con el estudio de Cárdenas y Robles (2016) quienes compararon la resistencia del concreto sometido a dos distintos métodos de curado, el de hidratación directa o inmersión vs exudación por recubrimiento en vinipel, encontrando mayor resistencia en el primer método.

El concreto sin curado, presentó menor resistencia en todas las edades, con resultados similares a la investigación de Horna (2018), quien encontró que al exponer el concreto al medio ambiente sin ningún curado, su resistencia es menor a cualquier otro método, así también lo afirman Contreras y Velazco (2018), quienes exponen que al no curar el concreto se tiene una baja resistencia, la cual oscila entre el 45% y 50% y en el trabajo de Manobanda (2013), donde se obtuvo una resistencia del 63,49%.

7.2 Factores de comparación entre los diferentes métodos de curado del concreto

Como factor de comparación entre los diferentes métodos de curado del concreto, se analiza la resistencia a la compresión.

Los indicadores obtenidos a los 3 días de edad, se presentan en la Tabla 14. Indicadores de resistencia a la compresión a los 3 días de edad

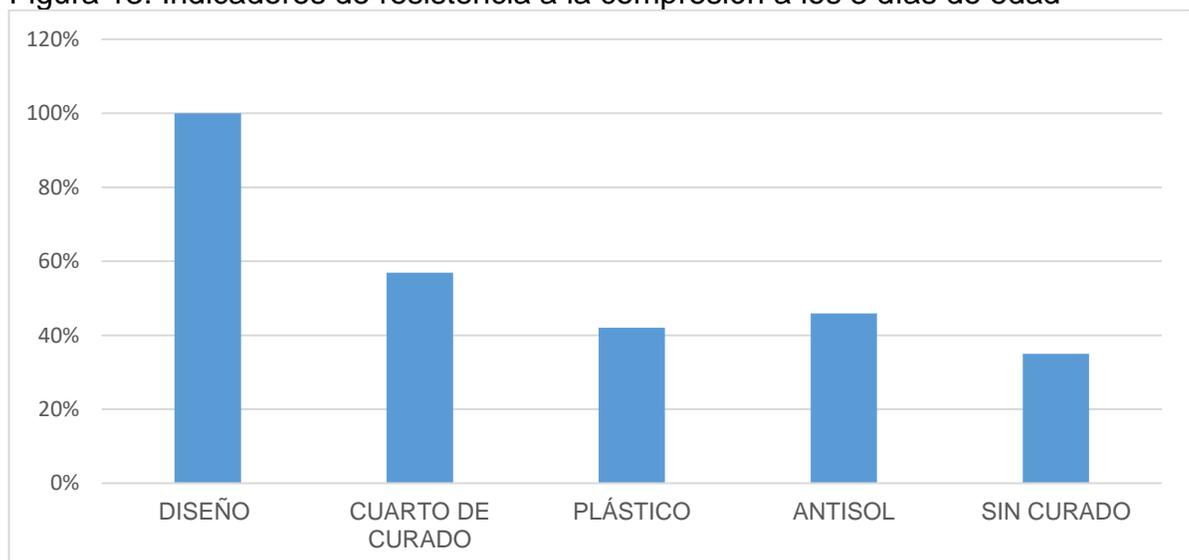
Tabla 14. Indicadores de resistencia a la compresión a los 3 días de edad

Indicadores de resistencia a la compresión obtenida por probetas sometidas a diferentes métodos de curado a la edad de 3 días				
Resistencia (Mpa)				
Diseño	Cuarto de curado	Plástico	Antisol	Sin curado
21	11,96	8,82	9,64	7,34
Indicadores				
100%	57%	42%	46%	35%

Fuente: trabajo investigativo

En la Figura 13. Indicadores de resistencia a la compresión a los 3 días de edad se visualiza la resistencia a la compresión a los 3 días de edad

Figura 13. Indicadores de resistencia a la compresión a los 3 días de edad



Fuente: trabajo investigativo

Los indicadores obtenidos a los 7 días de edad, se presentan en la Tabla 15. Indicadores de resistencia a la compresión a los 7 días de edad

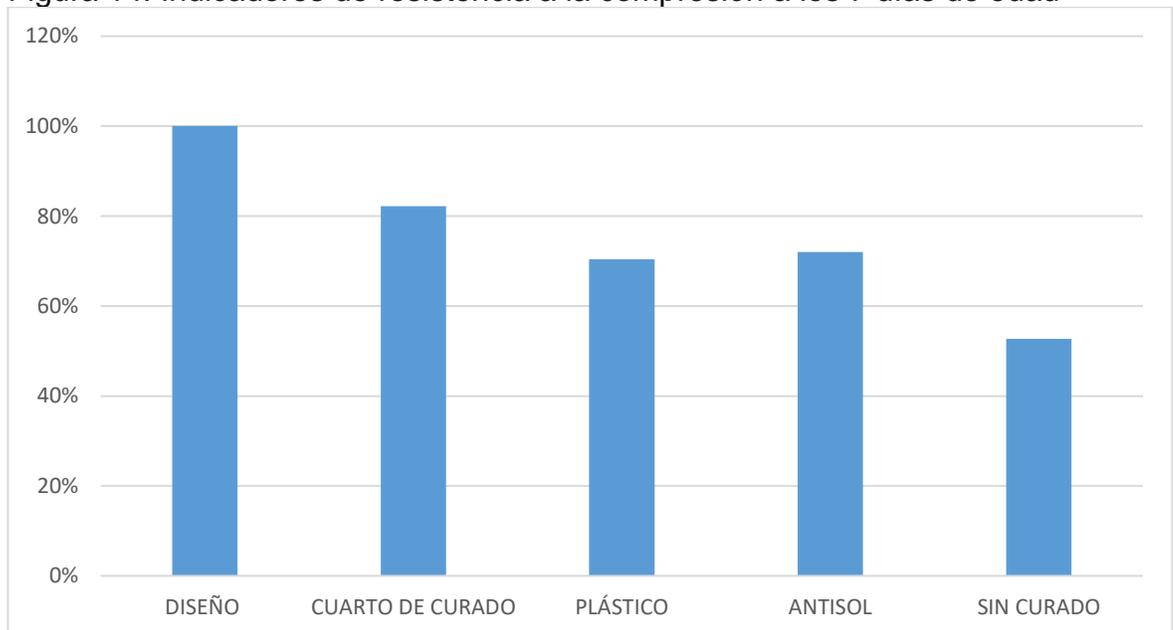
Tabla 15. Indicadores de resistencia a la compresión a los 7 días de edad

Indicadores de resistencia a la compresión obtenida por probetas sometidas a diferentes métodos de curado a la edad de 3 días				
Resistencia (Mpa)				
Diseño	Cuarto de curado	Plástico	Antisol	Sin curado
21	17,26	14,78	15,12	11,06
Indicadores				
100%	82%	70%	72%	53%

Fuente: trabajo investigativo

En la Figura 14. Indicadores de resistencia a la compresión a los 7 días de edad se visualiza la resistencia a la compresión a los 7 días de edad.

Figura 14. Indicadores de resistencia a la compresión a los 7 días de edad



Fuente: trabajo investigativo

En Tabla 16. Indicadores de resistencia a la compresión a los 14 días de edad se detallan los indicadores obtenidos a los 14 días de edad:

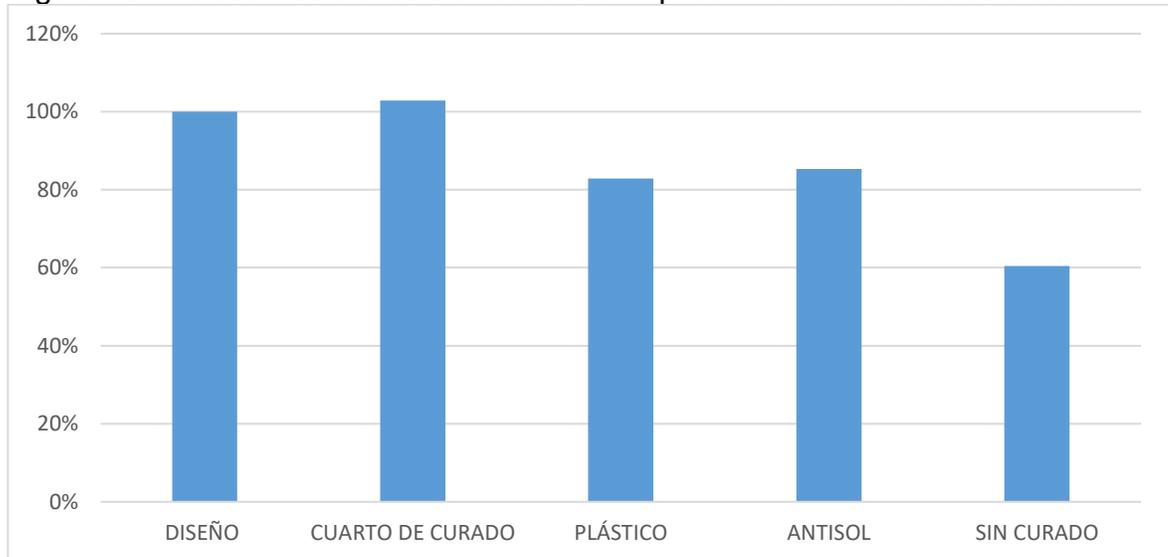
Tabla 16. Indicadores de resistencia a la compresión a los 14 días de edad

Indicadores de resistencia a la compresión obtenida por probetas sometidas a diferentes métodos de curado a la edad de 3 días				
Resistencia (Mpa)				
Diseño	Cuarto de curado	Plástico	Antisol	Sin curado
21	21,6	17,4	17,92	12,7
Indicadores				
100%	103%	83%	85%	60%

Fuente: trabajo investigativo

En la Figura 15. Indicadores de resistencia a la compresión a los 14 días de edad. En la Figura 14. Indicadores de resistencia a la compresión a los 7 días de edad se visualiza la resistencia a la compresión a los 3 días de edad

Figura 15. Indicadores de resistencia a la compresión a los 14 días de edad



Fuente: trabajo investigativo

En Tabla 17. Indicadores de resistencia a la compresión a los 28 días de edad, se precisan los indicadores obtenidos a los 28 días de edad, permitiendo un resultado más acertado de la comparación de cada uno de los métodos de curado, que permite concluir cuál es el más y el menos efectivo.

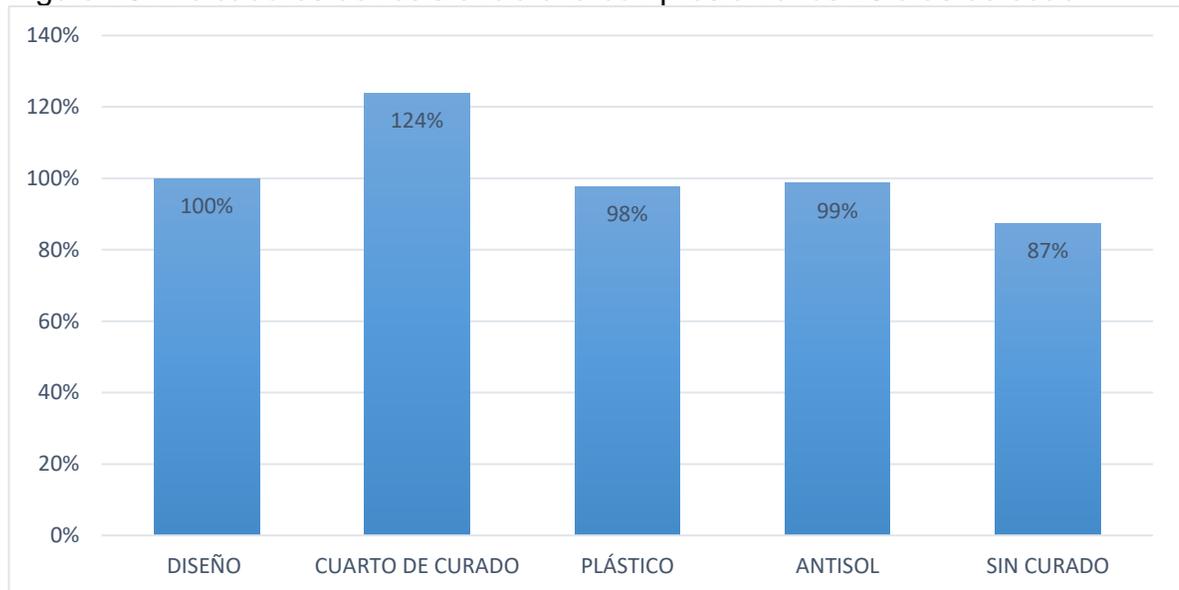
Tabla 17. Indicadores de resistencia a la compresión a los 28 días de edad

Indicadores de resistencia a la compresión obtenida por probetas sometidas a diferentes métodos de curado a la edad de 28 días				
Resistencia (Mpa)				
Diseño	Cuarto de curado	Plástico	Antisol	Sin curado
21	26,02	20,5	20,72	18,34
Indicadores				
100%	124%	98%	99%	87%

Fuente: trabajo investigativo

Para una mejor comparación de resultados se presenta en la Figura 16. Indicadores de resistencia a la compresión a los 28 días de edad los indicadores obtenidos a los 28 días de edad:

Figura 16. Indicadores de resistencia a la compresión a los 28 días de edad



Fuente: trabajo investigativo

El único método de curado que alcanzó satisfactoriamente la resistencia esperada, es la muestra sometida al cuarto de curado, siguiendo el antisol, plástico y por último, la muestra que no tuvo ningún tipo de curado.

El método de curado de cuarto se realiza por inmersión del elemento de concreto en agua, donde es necesario controlar la temperatura, otra forma de curar con agua es con aspersión o rociado para lo cual se utilizan boquilla o rociadores, logrando humedecer el material (Medina, 2014).

El curado de cuarto se debe realizar con agua limpia, se deben tapar todas las superficies expuestas y permanecer húmedas, un método puede ser el uso de tuberías perforadas o regadores mecánicos (Empresas Públicas de Medellín, 2017).

En Tabla 18. Aplicación de curado con agua, se precisan los procedimientos que se pueden emplear para curar por medio de agua:

Tabla 18. Aplicación de curado con agua

Procedimiento	Aplicación
Inmersión en Agua	Se puede aplicar en losas de piso, pavimentos, techos planos y cualquier superficie en la cual se garantice una corriente o retención de agua.
Rociado o Aspersión	Se aplica cuando la obra se desarrolla en un ambiente cuya temperatura ambiente supera los 10 grados, se debe garantizar la continuidad del rociado.
Cubiertas de material absorbente	Se utilizan sacos, arpilleras, mantas de algodón, alfombras y otras cubiertas absorbentes
Capas de arena o aserrín	Deben permanecer húmedos, adicional se debe controlar el contenido de materia orgánica

Fuente: (Loya, 2018)

Otro método de curado es utilizando materiales selladores como líquidos curadores o la protección con materiales impermeables (Medina, 2014), los compuestos sellantes deben establecer una membrana, de forma tal que retenga el agua (Empresas Públicas de Medellín, 2017).

En la Tabla 19. Aplicación de curado materiales sellantes, se discriminan los procedimientos para el curado con materiales sellantes.

Tabla 19. Aplicación de curado materiales sellantes

Procedimiento	Aplicación
Tejadillos Móviles	Se aplican en obras de trazado lineal..
Películas plásticas	Películas con espesor superior a 0.10 mm, las cuales se ponen directamente sobre el hormigón
Papel impermeable	Se emplea como las láminas plásticas
Películas de curado	<p>Recubrimientos a base de aceites o resinas que se pulverizan sobre la superficie del hormigón y forman una película protectora. Es considerado uno de los procedimientos más efectivos, pero también el más costoso.</p> <p>Este procedimiento evita grietas o fisuras en la superficie del concreto, desarrollando la fuerza a la compresión deseada o de diseño.</p> <p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Forma una película rápida, otorgando un período máximo de hidratación - Protege el concreto de la acción nociva de agentes atmosféricos - Aumenta la resistencia mecánica a la abrasión superficial - Evita la formación de fisuras superficiales y descascaramiento por refracción <p>Se puede aplicar en:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Losas de estacionamientos, edificios, veredas y calzadas. - Elementos de concreto caravista. - Losas de pavimentos, autopistas vehiculares, carretera y pistas de aterrizaje. - Taludes y muros de contención. - Canales, curado de tubos prefabricados y acueductos de concreto armado. - Puentes, concreto de obras de arte.

Fuente: (Loya, 2018)

8. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta que los elementos que se curan en agua solo son los cilindros enviados a laboratorio debido a la viabilidad del método, se puede concluir que este método o cualquiera de sus variaciones, como método de aspersión son los más efectivos a la hora de alcanzar la resistencia deseada, llegando hasta un 125% con respecto a la resistencia de diseño, en el caso específico de este proyecto de investigación evidenciando un 124% de la resistencia para la cual se realizaron las probetas.

Se evidenció que las probetas sometidas al método de curado con antisol, obtuvieron un 99% de la resistencia esperada, lo cual no indica que el método de curado no sea eficiente, sino que su uso es efectivo de acuerdo al tipo de elemento que se desee curar, por ejemplo, las losas de pavimento o elementos que no se pueden cubrir completamente con plástico.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos para las probetas sometidas a curado con plástico se obtuvo un 98% de la resistencia esperada, es importante tener en cuenta que este es el método de curado más económico, pero esto no quiere decir que sea útil para todos los elementos que se deseen curar, ya que para que este método sea efectivo es necesario cubrir los elementos completamente y no siempre las condiciones en obra se prestan para dicha práctica.

El curado del concreto es esencial para que éste alcance mejores niveles de resistencia a la compresión, de acuerdo al estudio realizado se puede concluir que una mezcla sin curado, no alcanza los niveles de resistencia esperados, obteniendo obras con dificultades estructurales, toda vez que la resistencia a la compresión a los 28 días de edad llega a 18,34, es decir, 2,66 puntos por debajo de la resistencia esperada, alcanzando el 87% sobre 100% de la resistencia.

En los métodos de curado del concreto con antisol, plástico y agua, la resistencia incrementa a medida que aumenta la edad del concreto, pero el método que supera la resistencia esperada a los 28 días de edad, es el del curado con agua, alcanzando un 23.90% más de lo esperado, los métodos de antisol y plástico presentan una resistencia baja y muy similar, la mezcla del concreto sin curado, es la que tiene la más baja resistencia.

Independiente de los resultados a la resistencia a la compresión del concreto ante los diferentes métodos para su curado, éstos pueden satisfacer necesidades constructivas, es decir, dependiendo del requerimiento constructivo se utiliza el método de curado más indicado, no en todas las obras se puede optar por el curado con agua, teniendo en cuenta, que para que éste método sea eficiente el concreto debe estar sumergido constantemente en agua, o estar en presencia de aspersión de agua, lo que claramente es complicado, concluyendo que los mejores métodos serían con antisol o plástico, el método a elegir depende de la superficie en la que se esté trabajando, en una vía no es viable curar con plástico pero para un elemento estructural como viga o columna es más pertinente el curado con plástico.

A los 28 días de curado, la resistencia de las probetas sometidas al cuarto de curado presentan mayor resistencia de la esperada, alcanzando un 23.90% más, encontrando semejanza con los resultados de otras investigaciones, como la de Cárdenas y Robles (2016), donde el método de curado por hidratación directa fue mayor en un 19.76% de la resistencia esperada, el resultado es mayor al reportado por Contreras y Velazco (2018), quienes encontraron una resistencia a la compresión del 96.46%

En los métodos de curado con plástico y antisol se obtuvieron resistencias muy similares, con resultados 20.5 Mpa con plástica y 20.72 Mpa con antisol, resultados semejantes a los reportados por Cárdenas y Robles (2016) donde el método de curado por exudación en recubrimiento de vinipel, tampoco alcanzó el 100% de la resistencia esperada.

9. RECOMENDACIONES

Para mejorar los resultados de una investigación concerniente a los métodos del curado en el concreto, se recomienda controlar el diseño de la mezcla, la cual se desarrolla de acuerdo a las propiedades que se desean obtener, determinando los materiales que se integrarán, como el concreto, el cemento, agregado fino, agregado grueso, aditivos, de tal manera que se cumpla con las características requeridas del hormigón, de esta manera se domina no solo el método del curado sino también el diseño de la mezcla, dado que estas dos variables influyen en la resistencia esperada.

Evaluar la afectación de la resistencia a la compresión del concreto ante diferentes métodos de curados a los 56 días, permitiendo un mayor análisis de los mismos por el avanzado desarrollo de la resistencia, considerando que el concreto puede presentar aumento de su resistencia en el tiempo transcurrido desde el día 28 hasta el 56, encontrando que en la práctica cuando un elemento no alcanza su resistencia a los 28 días, se da un tiempo hasta los 56, donde se vuelve a evaluar su comportamiento, por tal razón en las obras cuando se elaboran cilindros siempre se dejan algunos “testigos” que se fallan tiempo después, si se presenta el caso de que alguno no cumplió con el diseño en el tiempo estimado.

Analizar la afectación de diferentes métodos del curado en un concreto premezclado y una mezcla computarizada y no manual, a fin de validar los resultados, dado que este tipo de mezclas consideran diferentes variables como la granulometría, tamaño máximo de la grava, módulo de finura de la arena, densidad aparente de la grava y arena, porcentaje de absorción de la grava y de la arena, porcentaje de humedad de los agregados, densidad y peso específico de los agregados y densidad del cemento, factores que intervienen en la calidad del concreto.

La selección del método de curado depende del desarrollo constructivo, se recomienda aplicar los resultados de ésta investigación en proyectos locales, regionales y nacionales, para analizar el comportamiento diferencial entre los métodos de curado utilizados y sus posibles aplicaciones, toda vez que el método a elegir depende de la superficie en la que se esté trabajando, de la resistencia esperada, de la practicidad y el costo beneficio, en una vía es difícil curar con plástico pero para un elemento estructural como viga o columna es más pertinente éste método de curado, así mismo, en las obras el curado de los elementos con agua es un método con mayor dificultad, dado que el concreto debe estar sumergido constantemente en agua, o estar en presencia de aspersión de agua, lo que claramente es muy complicado, recomendado que los métodos sean curado con antisol o plástico.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Argos. (2019). *www.360enconcreto.com*. Obtenido de Diseño de mezclas de concreto: conceptos básicos: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/diseño-mezclas-de-concreto-conceptos-basicos>
- Asprecon Ingeniería S.A.S. (2019). *Asprecon*. Obtenido de <https://asprecon.com/quienes-somos/>
- Beltrán, M. (2015). *Determinar la influencia de las propiedades mecánicas en los esfuerzos a compresión de los tiempos de aplicación de productos comerciales tipo membrana para el curado del concreto*. Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín . Obtenido de http://www.colmayor.edu.co/archivos/43_proyecto_curado_del_concreto_ojq8e.pdf
- Cámara Colombiana de la Construcción. (2018). *Construcción de edificaciones, motor de la economía en Risaralda* . Obtenido de <https://camacol.co/prensa/noticias/construccion-de-edificaciones-motor-de-la-economia-en-risaralda>
- Cárdenas, N., & Robles, S. (2016). *Comparación de la resistencia del concreto normal a la compresión, mediante el proceso de curado por el método de hidratación directa o inmersión vs exudación por recubrimiento en vinipel*. (U. C. Bogotá, Ed.) Recuperado el 2019, de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/8269/4/DOCUMENTO%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Contreras, S., & Velazco, C. (2018). *Análisis comparativo del método de curado en especímenes de losas de concreto simple, simulando condiciones constructivas de obra en la ciudad de Arequipa*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa - Perú . Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5522/ICcoussr.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Corrales , S. (2015). *Análisis de la resistencia a la compresión desarrollada en el concreto al ser curado con compuestos líquidos formadores de membrana*. Costa Rica : Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería .
- Empresas Públicas de Medellín . (2017). *Norma de construcción de concretos* . (U. d. Especificaciones, Ed.) Medellín . Obtenido de <https://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/2017/NC-MN-OC07-01%20Concretos.pdf>
- Euclid Group Toxement. (2016). *www.toxement.com.co*. Obtenido de Guía básica para el curado del concreto : http://www.toxement.com.co/media/3391/gui-basica-para-el-curado_concreto.pdf
- EuroRep. (2019). *www.eurorep.com.mx*. Obtenido de Qué es el concreto: <http://www.eurorep.com.mx/articulo-que-es-el-concreto.shtml>
- Giraldo , L., & Ramos, Y. (2017). *Diseño de mezcla y caracterización físico - mecánica de un concreto de alta resistencia fabricado en cemento*. Cali: Universidad Javeriana. Obtenido de

- http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/8291/Dise%C3%B1o_mezcla_caracterizaci%C3%B3n_%28Articulo_Cientifico%29.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Gutiérrez, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia .
- Horna, J. (2018). *Influencia de los curadores, tiempo de curado y número de capas en la superficie del concreto sobre la resistencia a compresión*. Universidad Privada del Norte , Trujillo - Perú . Obtenido de <http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/14969/Horna%20Barriaga%20Jos%C3%A9%20Alberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (2006). Pruebas de resistencia a la compresión del concreto. México. Obtenido de <http://www.imcyc.com/ct2006/junio06/PROBLEMAS.pdf>
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (2019). *imcyc*. Obtenido de El concreto : <http://www.imcyc.com/concreto/>
- Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. (2005). Conceptos Básicos. México. Obtenido de <http://www.imcyc.com/cyt/marzo05/CONCEPTOS.pdf>
- Loya, L. (2018). Evaluación de la resistencia a la compresión del curado del concreto en obra y laboratorio en el distrito de Yanacancha, Pasco. Cerro de Pasco - Perú: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/867/1/TESIS%20CURADO%20DEL%20CONCRETO%20FINAL%20OK%20-%20LFLO.pdf>
- Manobanda, C. (2013). *El curado del hormigon y su incidencia en las propiedades mecánicas finales*. Universidad Técnica de Ambato, Ambato - Ecuador .
- Medina, W. (2014). El curado del concreto en la construcción. Tunja: Universidad Santo Tomás de Aquino. Obtenido de <http://www.ustatunja.edu.co/cong/images/Articulos/-EL%20CURADO%20DEL%20CONCRETO%20EN%20LA%20CONSTRUCCION.pdf>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10. Obtenido de <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/3titulo-c-nsr-100.pdf>
- Muciño, A., & Lozada, P. (2017). *Diseño de mezclas de concreto*. Laboratorio de Estructuras de Materiales y Sistemas Estructurales. Obtenido de http://leias.fa.unam.mx/wp-content/uploads/2018/05/180515_Practica9_W_LMSE.pdf
- Niño, W. (2013). Caracterización mecánica y de durabilidad de concretos de alto desempeño. Bogotá : Pontificia Universidad Javeriana .
- Palacios , A. (2019). Influencia del curado acelerado con agua hirviendo en la resistencia temprana del concreto. Piura, Perú: Universidad Nacional de Piura.
- Polanco, A. (2012). *Manual de Prácticas de Laboratorio de Concreto*. Chihuahua: Universidad Autónoma de Chihuahua. Obtenido de

http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL_LAB_DE_CONCRETO.pdf

- Rivera, G. (2013). Tecnología del concreto y mortero. Ingeniería y Construcción .
- Rodríguez, E. (2005). *Metodología de la Investigación*. México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Sika . (2009). *Curado del concreto* .
- Sika. (2019). *Curado para concreto y mortero en ambiente normal*. Obtenido de https://col.sika.com/es/system/search.html?_charset_=UTF-8&searchtype=&searchText=antisol+blanco
- Solís, R., Moreno, E., & Vázquez, C. (2011). Diferencias en la resistencia de concretos sujetos a curados húmedos y al ambiente en clima cálido subhúmedo. *Scielo*, 3(1). Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112011000200003
- Universidad Centroamericana José Simeón Cañas . (2014). Curado del concreto. Departamento de Mecánica Estructural.
- Vélez , A. (sf). Transporte, colocación y curado de concreto en obra. (I. C.-E. Patología, Ed.)