



**Evaluación de alternativas de curado para el concreto en Bogotá**

**David Estiven Ñahui Betancourt**

Código 10481628679

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Civil

Bogotá, Colombia

2022

# **Evaluación de alternativas de curado para el concreto en Bogotá**

**David Estiven Ñahui Betancourt**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Ingeniero Civil**

Director (a):

Dr. Ingeniero Edison Osorio

Línea de Investigación:

Materiales y Estructuras.

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Civil

Bogotá, Colombia

2022

## NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado Evaluación de alternativas de curado para el concreto en Bogotá, cumple con los requisitos para optar al título de Ingeniero Civil.

---

Firma del Tutor

---

Firma Jurado

---

Firma Jurado

Bogotá, Mayo de 2022

## Contenido

	<b>Pág.</b>
Resumen	1
Abstract	2
1. Introducción	3
2. Objetivo general	5
2.1. Objetivos específicos	5
3. Marco teórico	1
3.1. Concreto	1
3.2. Agua para concreto	3
3.2.1. Agua para mezclado del concreto	4
3.2.2. Agua de hidratación	5
3.2.3. Agua evaporable	5
3.3. Agua de curado para el concreto	6
3.3.1. Curado en clima frío	7
3.3.2. Curado en clima caliente	8
3.3.3. Tipos de curado	9
3.3.3.1. Curado Inicial	9
3.3.3.2. Curado Intermedio	10
3.3.3.3. Curado Final	10
3.3.4. Métodos de curado	10
3.3.4.1. Aplicación adicional de agua	11
3.3.4.2. Estanqueamiento e inmersión	12
3.3.4.3. Nebulización y Aspersión	12
3.3.4.4. Curado con arena o aserrín	13
3.3.4.5. Coberturas plásticas	13
3.3.4.6. Membranas selladoras	13
3.3.4.7. Compuesto de curado formadores de membrana	14
3.3.4.8. Métodos de curado natural	14

3.4.	Patologías en el concreto por mal curado	14
3.4.1.	Fisuración por contracción plástica	15
3.4.2.	Afectación de la durabilidad del concreto	15
3.4.2.1.	Permeabilidad del concreto	15
3.4.2.2.	Resistencia a la abrasión	16
3.4.2.3.	Resistencia a la meteorización	16
3.4.2.4.	Corrosión del acero	16
4.	Estado del conocimiento	17
4.1.	Técnica de Impedancia electromagnética EMI	17
4.2.	Método autocurado	23
5.	Diseño metodológico	29
5.1.	Investigación experimental	29
5.2.	Parámetros de análisis	29
5.3.	Ensayos	30
5.3.1.	Diseño de mezcla	30
5.3.2.	Toma de muestras	33
5.3.3.	Curado del concreto	34
5.3.4.	Falla de cilindros	36
5.4.	Marco geográfico	37
6.	Resultados y análisis	38
6.1.	Resultados y análisis realizados al concreto	38
6.2.	Análisis de métodos de curado	42
6.2.1.	Aplicación adicional de agua	42
6.2.2.	Estanqueamiento e inmersión	43
6.2.3.	Nebulización y aspersion	44
6.2.4.	Curado con arena o aserrín	44
6.2.5.	Coberturas plásticas	45
6.2.6.	Membranas selladoras	45
6.2.7.	Compuestos formadores de membranas	45
6.2.8.	Método de curado natural	46

Conclusiones	47
Anexos	48
Referencias Bibliográficas	59

## Lista de Figuras

	Pág.
<b>Figura 1</b> Diagrama del contenido en el marco teórico.....	1
<b>Figura 2</b> Rango en proporción de materiales en el concreto.....	2
<b>Figura 3</b> Sección transversal de concreto endurecido, grava silícea.....	3
<b>Figura 4</b> Agua en el concreto .....	5
<b>Figura 5</b> Curado del concreto con producto contrasol.....	6
<b>Figura 6</b> Desarrollo de la resistencia dependiendo la temperatura de curado .....	8
<b>Figura 7</b> Nomograma para determinar la tasa de evaporación máxima .....	11
<b>Figura 8</b> Cantidad de publicaciones por año.....	18
<b>Figura 9</b> Principales universidades que investigan este tema .....	18
<b>Figura 10</b> Investigaciones realizadas por país .....	19
<b>Figura 11</b> Equipos para la realización de la técnica EMI .....	22
<b>Figura 12</b> Cantidad de publicaciones por año.....	24
<b>Figura 13</b> Entes que realizan publicaciones.....	25
<b>Figura 14</b> Investigaciones sobre autocurado del concreto realizadas por país .....	25
<b>Figura 15</b> Optimización de la granulometría .....	32
<b>Figura 16</b> Toma de muestra de concreto.....	34
<b>Figura 17</b> Muestra A dejada a la Intemperie.....	35
<b>Figura 18</b> Muestra B dejada en la pileta .....	36
<b>Figura 19</b> Prensa para falla de cilindros.....	37
<b>Figura 20</b> Ubicación del laboratorio de la Universidad Antonio Nariño.....	37
<b>Figura 21</b> Comparación de muestras de la evolución de la resistencia entre las probetas dejadas a la intemperie y las curadas en la pileta.....	40
<b>Figura 22</b> Porcentaje de diferencia de la resistencia entre los dos tipos de curados.....	41

## Lista de tablas

	Pág.
<b>Tabla 1</b> Datos iniciales .....	31
<b>Tabla 2</b> Granulometría .....	31
<b>Tabla 3</b> Propiedades de los materiales .....	32
<b>Tabla 4</b> Diseño de mezcla .....	33
<b>Tabla 5</b> Resultados de la resistencia a la compresión a los 3 días .....	38
<b>Tabla 6</b> Resultados de la resistencia a la compresión a 12 días .....	39
<b>Tabla 7</b> Resultados de la resistencia a la compresión a los 16 días .....	39
<b>Tabla 8</b> Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días .....	40
<b>Tabla 9</b> APU para el curado mediante el riego de agua.....	43



*(Dedicatoria)*

*A mis padres, mi esposa, mi hija que han sido  
la fortaleza para lograr todos los objetivos que  
me pongo.*

*“La inteligencia consiste no sólo en el  
conocimiento, sino también en la destreza de  
aplicar los conocimientos a la práctica”.*

*Aristóteles*

## **Agradecimientos**

Al Ingeniero Edison Osorio, mi director de tesis, quien me ha ayudado con el enfoque que debería darse a esta investigación y sus múltiples asesorías para el buen desarrollo de la tesis de grado.

A la universidad por facilitar el uso del laboratorio para los ensayos realizados en esta investigación.

## **Resumen**

Debido a mis experiencias en obra, identifiqué la falta del control en el curado de los elementos en concreto generalmente debido a la necesidad de avanzar con las obras pasando a un segundo plano la importancia de este procedimiento, muchas veces es porque no se entiende cuanta resistencia puede perder el concreto cuando no se le realiza un buen curado.

El objetivo de esta monografía es poder identificar la importancia del curado del concreto para el desarrollo de las propiedades mecánicas, establecer métodos de curado que sean viables para las obras, además de obtener un intervalo de diferencia de resistencia referente a un concreto curado en laboratorio y otro a la intemperie que ayude a los ingenieros a tomar decisiones respecto al curado del concreto en obra.

La forma como se realizará esta tesis es recopilando información de diferentes investigaciones realizadas a nivel mundial, referente al curado del concreto, identificando su importancia para el desarrollo de las reacciones químicas del cemento, la afectación en las propiedades mecánicas, además, se realizará una investigación para determinar la diferencia en resistencia entre una muestra de concreto curada en laboratorio y otra a la intemperie (en el clima de la ciudad de Bogotá).

En el desarrollo de esta tesis se pudo concluir que el curado del concreto es vital para el desarrollo de las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto, además, se pudo evidenciar una diferencia de resistencia en el concreto curado en laboratorio y el otro a la intemperie hasta del 21%, el cual, es bastante considerable.

Palabras clave: Curado del concreto, Resistencia a la compresión, EMI, PZT.

## **Abstract**

Due to my experiences on site, I identify the lack of control in the curing of concrete elements, generally due to the need to advance with the works, leaving the importance of this procedure in the background, many times it is because it is not understood how much resistance it can lose the concrete when it is not properly cured.

The objective of this monograph is to be able to identify the importance of concrete curing for the development of mechanical properties, to establish curing methods that are viable for works, in addition to obtaining an interval of resistance difference referring to concrete cured in the laboratory and one outdoors to help engineers make decisions regarding the curing of concrete on site.

The way in which this thesis will be carried out is by compiling information from different investigations carried out worldwide, regarding the curing of concrete, identifying its importance for the development of the chemical reactions of cement, the affectation in the mechanical properties, in addition, an investigation will be carried out to determine the difference in resistance between a concrete sample cured in the laboratory and another outdoors (in the climate of the city of Bogotá).

In the development of this thesis it was possible to conclude that the curing of concrete is vital for the development of the mechanical properties and durability of the concrete, in addition, a difference in resistance could be evidenced in the concrete cured in the laboratory and the other in the open. up to 21%, which is quite considerable.

**Keywords:** Concrete curing, Compressive strength, EMI, PZT.

## 1. Introducción

El curado del concreto es de gran importancia para todas las obras donde utilizan este material, ya que este garantiza el desarrollo de las reacciones químicas del cemento con el agua y las propiedades mecánicas del concreto.

En Colombia en la norma sismo resistente NSR-10 indica que el curado del concreto debe realizarse por lo menos durante 7 días (Asociación Colombiana de Ingeniería Sismica & Colombia. Ministerio del Medio Ambiente, 2010), situación que para muchas obras en Colombia se vuelve difícil de controlar, debido a situaciones como:

- Tiempos para liberación de actividades
- Espacios reducidos
- Recurrencia en los espacios
- Premura de avanzar la obra
- Otros

Por lo anterior, se vuelve necesario estudiar las diferentes posibilidades que tienen los constructores en la ciudad de Bogotá para realizar un adecuado curado a las estructuras en concreto teniendo como objetivo no afectar la calidad de concreto puesto en sitio.

El curado del concreto es importante, pero en la práctica el curado del concreto es a menudo una prioridad baja en las obras de construcción (Taylor, 2013), los beneficios de un buen curado no son evidentes de inmediato, pero la deficiencia de un mal curado lo va a sufrir la estructura a largo de su vida útil, debido a que afecta directamente en su durabilidad.

En la investigación realizada en este documento realizamos 16 cilindros, 8 cilindros los cuales se dejarán en la pileta y 8 cilindros que se dejarán a la intemperie, se fallaron a 3, 12, 16 y 28 para realizar una comparación en la capacidad de resistencia del concreto.

El curado del concreto hay que garantizarse por 7 días (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica & Colombia. Ministerio del Medio Ambiente, 2010) y no se debe dejar secar superficialmente para poder garantizar la hidratación del cemento, manteniendo una humedad relativa dentro de los poros capilares por encima del 80% (Cusens, 1976).

## **2. Objetivo general**

Evaluar alternativas de curado para el concreto en la ciudad mediante la revisión de un estado del conocimiento.

### **2.1. Objetivos específicos**

Elabora un estado del conocimiento sobre los métodos del curado.

Valorar la variación de resistencia a la compresión de un concreto con curado en laboratorio y otro con curado a la intemperie,

Identificar qué parámetros se deben controlar con un concreto expuesto a la intemperie.

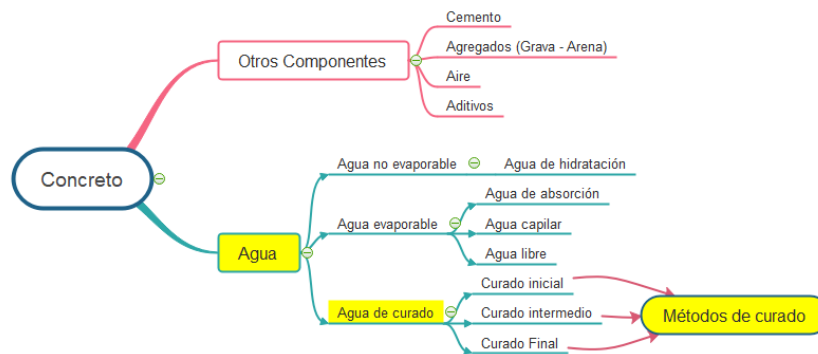
Evaluar cinco opciones de curado que sean viables para diferentes obras de la ciudad de Bogotá.

### 3. Marco teórico

Cuando se realiza una mezcla de concreto se debe tener en cuenta diferentes variables que pueden afectar en la calidad de este, como lo son: materia orgánica, cantidad de agua en la mezcla, tiempo de colocación, curado del concreto, etc. En este capítulo se estudia la importancia del curado para el buen desarrollo de las propiedades mecánicas del concreto, en la figura 1 se identifica los temas que vamos a abordar y su orientación hacia el estudio del agua en el concreto.

**Figura 1**

Diagrama del contenido en el marco teórico



*Nota:* Agua en el concreto. Fuente: Autor.

#### 3.1. Concreto

El concreto hace referencia a una mezcla de agregados, usualmente arena, grava o piedra triturada, pasta de cemento, que sirve como aglutinante para unir la grava y la arena. (Kosmatka & Wilson, s. f.)



La pasta es la mezcla de agua con el cemento, por lo cual, podemos definir el concreto como una mezcla de arena, grava, cemento y agua. En la figura 2 podemos visualizar el contenido de materiales en una mezcla de concreto.

## Figura 2

Rango en proporción de materiales en el concreto

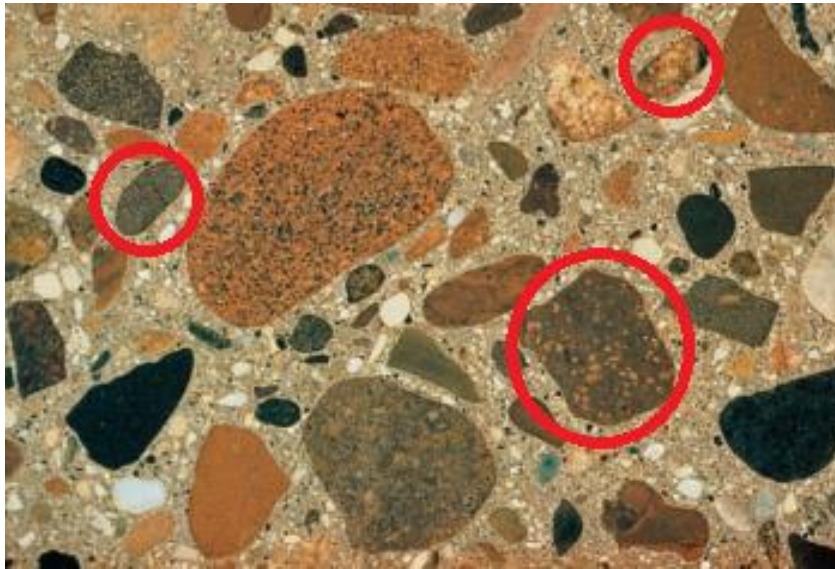


*Nota:* Materiales en una mezcla de concreto. Fuente: Autor.

Ya que los agregados representan gran parte del volumen del concreto, la selección de este material se vuelve muy importante, debido a que estos materiales deben tener una buena resistencia a la compresión y a las condiciones de exposición, además, no deben contener materiales que causen deterioro al concreto. (Kosmatka & Wilson, s. f.)

### Figura 3

Sección transversal de concreto endurecido, grava silícea.



*Nota:* Materiales en una mezcla de concreto. Adaptado de (Kosmatka & Wilson, 2011).

En la figura 3 se identifica el grado de acomodo de las partículas del concreto, una buena gradación del material garantiza la disminución de vacíos en la mezcla de concreto, logrando una buena homogeneización de los materiales con la pasta de cemento, lo que mejora las propiedades mecánicas del concreto.

#### 3.2. Agua para concreto

Es un componente del concreto con el cual el cemento experimenta reacciones químicas que le da la propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los agregados. (Guzman, 2001)

El agua que se puede usar en el concreto no debe tener ni olor, ni sabor marcado, además de no tener impurezas excesivas que puedan afectar la calidad del concreto, el agua potable puede ser una buena opción para la realización de mezclas de concreto.

El agua se puede clasificar en dos tipos: agua para mezclado y agua para curado.

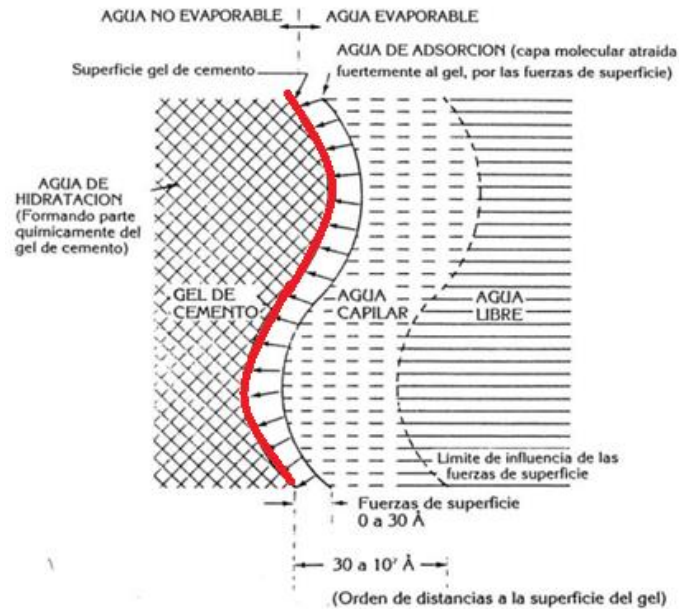
### 3.2.1. Agua para mezclado del concreto

Es la cantidad de agua por volumen unitario de concreto que necesita, el cemento en ese unitario de concreto, para producir una pasta eficientemente hidratada.(Guzman, 2001)

En esta agua de mezclado podemos hacer dos clasificaciones, agua no evaporable y agua evaporable, la figura 4 nos permite identificar más fácilmente los tipos de agua que encontramos en un concreto en estado fresco.

## Figura 4

### Agua en el concreto



*Nota:* Identificación de los tipos de agua en una mezcla de concreto. Adaptado de (Guzman, 2001).

#### 3.2.2. Agua de hidratación

Es aquella agua original del mezclado que reacciona químicamente con el cemento y se convierte en parte de la fase solidada de la pasta de cemento, también se conoce como agua no evaporable. (Guzman, 2001)

#### 3.2.3. Agua evaporable

Es el agua restante que existe en la pasta de cemento, es agua que puede evaporarse, pero no está libre en su totalidad, la pasta de cemento ejerce atracción molecular sobre una parte del agua evaporable y la mantiene atraída (Guzman,

2001), por este motivo el agua evaporable la podemos clasificar de 3 formas: agua de absorción, agua capilar y agua libre.

### 3.3. Agua de curado para el concreto

El curado del concreto se puede definir como la cantidad de agua suficiente que se necesita para que el cemento se hidrate y evolucione sin interrupción, de esta forma poder garantizar que el concreto alcance sus propiedades potenciales. (ACI Committee 308, 2016). En la figura 5 se puede identificar como se realiza el proceso de curado con un compuesto de curado formador de membrana.

#### **Figura 5**

Curado del concreto con producto contrasol



*Nota:* Compuestos de curado formadores de membrana. Fuente: Autor.

El curado del concreto es muy importante para garantizar el óptimo desarrollo de las propiedades mecánicas del concreto y para poder comprender el proceso del curado tenemos

que tener en cuenta diferentes conceptos como lo son tipos de curado, métodos de curado, costos del curado, etc. Además de diferentes factores que pueden afectar el curado como lo son humedad relativa, velocidad del viento, temperatura ambiente, etc.

Lo anteriormente mencionado afecta tanto en los costos como en la calidad del curado del concreto, por este motivo es importante identificar las opciones que se tienen en obra para poder garantizar el curado sin afectar el avance de obra y otros objetivos que tengan como priorizados en los proyectos.

### 3.3.1. Curado en clima frío

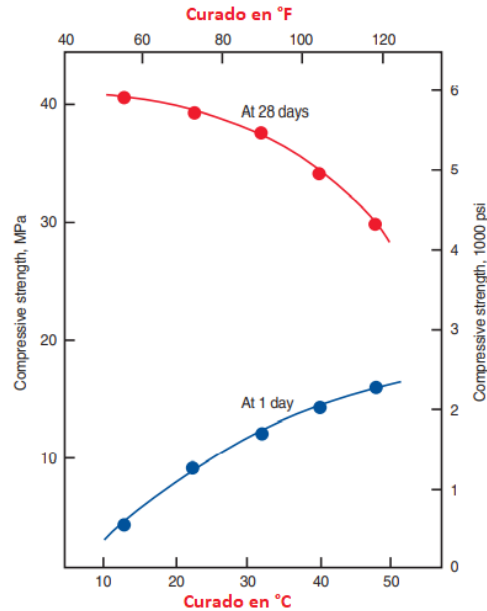
Según la ACI-306R se considera clima frío si la temperatura ambiental media por más de 3 días consecutivos es menor de 5°C, además, se debe tener en cuenta que se consideran condiciones extremas de temperatura para el concreto cuando la temperatura ambiental es menor de 5°C (ACI Committee 306 & American Concrete Institute, 2016).

Cuando el agua en el concreto se congela, esta agua aumenta su volumen rompiendo los débiles cristales que se han formado hasta ese momento por reacción química entre el cemento y el agua, además de que las bajas temperaturas producen una disminución de la reacción química entre estos afectando en el desarrollo de las propiedades mecánicas del concreto.

En la figura 6 se presenta la afectación que tiene la resistencia del concreto con respecto a la temperatura de curado.

**Figura 6**

Desarrollo de la resistencia dependiendo la temperatura de curado



*Nota:* Afectación de la resistencia por la temperatura en el tiempo de curado. Adaptado de (Kosmatka & Wilson, 2011)

### 3.3.2. Curado en clima caliente

Se consideran condiciones extremas de temperatura para el concreto cuando la temperatura ambiente es mayor de 28°C. (ACI Committee 306 & American Concrete Institute, 2016).

El curado en clima caliente es de mayor cuidado, ya que las variables de inciden en la evaporación del agua son mucho más agresivas, por lo cual, tenemos que controlar algunas variables para poder garantizar un buen curado del concreto.

Las variables que afectan el concreto en clima cálido son:

- La humedad relativa

- Velocidad del viento
- Temperatura ambiente
- Temperatura del concreto
- Recomendaciones en el momento de vertido del concreto.

Variables a controlar:

- Velocidad de evaporación no mayor de 1 kg/m<sup>2</sup>/h
- Temperatura del concreto fresco no mayor 35°C

Lo anterior, según las recomendaciones de la ACI 305. (ACI Committee 305, 2014)

### 3.3.3. Tipos de curado

En el proceso de curado podemos hablar de 3 tipos de curado, el curado inicial, intermedio y el curado final (ACI 308R-01, 2009).

#### 3.3.3.1. Curado Inicial

Son todas las medidas que se realizan para evitar la evaporación excesiva del agua en el concreto, en el momento desde que inicia su colocación hasta que se realiza el acabado superficial de este (A & D, 2010).

Algunos métodos de curado utilizados en esta etapa son:

- Pantallas que produzcan sombra
- Barreras contra el viento
- Neblina o Aspersión
- Membranas selladoras



### 3.3.3.2. Curado Intermedio

Es el curado que se recomienda inmediatamente después de realizar el acabado superficial del concreto y termina en el momento del fraguado final del concreto (A & D, 2010).

Algunos métodos de curado utilizados en esta etapa son:

- Neblina o Aspersión
- Membranas selladoras
- Compuestos de curado formadores de membranas

### 3.3.3.3. Curado Final

Este curado se inicia desde el momento del fraguado final del concreto (A & D, 2010) y mantenerse por lo menos por 7 días (Asociación Colombiana de Ingeniería Sismica & Colombia. Ministerio del Medio Ambiente, 2010).

El curado final puede realizarse prolongando los métodos de curado inicial y el curado intermedio, o también aplicando otros métodos de curado que garantice la hidratación constante del concreto.

### 3.3.4. Métodos de curado

Existen diferentes métodos de curado del concreto con diferentes materiales y procedimientos. Todos con el mismo objetivo, el de preservar el contenido de humedad que necesita el concreto para garantizar el desarrollo de las propiedades mecánicas esperadas. Estos son algunos métodos de curado que podemos realizar para garantizar el curado del concreto en sus diferentes etapas.

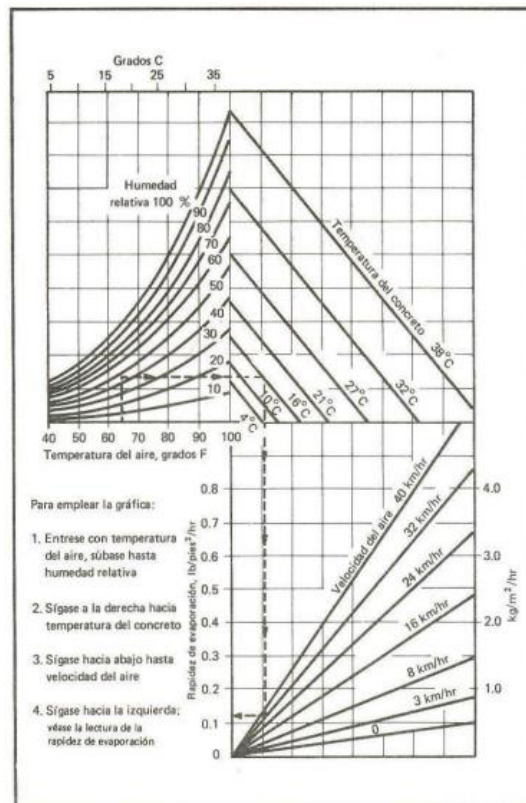
### 3.3.4.1. Aplicación adicional de agua

Este es el método más tradicional de curado del concreto, el cual consiste en humedecer el concreto roseando agua con una manguera o a baldados con agua. Se puede empezar a aplicar después del fraguado final del concreto. Es una buena práctica constructiva, la cual, se debe realizar varias veces al día dependiendo de la velocidad de evaporación del agua (Kosmatka & Wilson, 2011).

Se debe tener en cuenta que la ACI 308 recomienda el control de la velocidad de evaporación cuando supera los 0,5 kg/m<sup>2</sup>/hr y hace obligatorio el control de la velocidad de evaporación cuando supera 1 kg/m<sup>2</sup>/hr y facilita su medición por medio del siguiente monograma en la figura 7:

**Figura 7**

Nomograma para determinar la tasa de evaporación máxima



*Nota:* Para poder usar esta grafica se debe conocer la temperatura ambiente, humedad relativa, temperatura del concreto y velocidad del viento. Adaptado de (ACI Committee 308, 2016)

#### 3.3.4.2.Estanqueamiento e inmersión

El método de estanqueamiento se basa en realizar unos diques perimetrales en arena o algún otro material que me permita generar una barrera que impida la salida de agua generando un estanqueamiento de agua, la cual, su función es dejar sumergido en agua el concreto para su posterior curado, hay que tener en cuenta que la temperatura del agua no puede ser menor de 11°C.(Kosmatka & Wilson, 2011)

El método de inmersión es usado para las muestras de concreto en obra o en laboratorios, en el cual, el concreto es sumergido en unas piletas para garantizar un curado, además. se les realiza un control a los sulfatos al agua de la pileta y en los laboratorios controlan la temperatura del agua.

#### 3.3.4.3.Nebulización y Aspersión

En este método es importante que la temperatura ambiente este muy por encima de la temperatura de congelación, debido que este método debe dejar una película de humedad sobre la superficie del concreto, lo logra, cuando la superficie del concreto tiene una temperatura menor a la temperatura del medio ambiente.

El método de curado por nebulización o aspersión es un excelente método de curado para el concreto pero solo si se garantiza su aplicación constante y no se permite que la superficie del concreto se seque (ACI Committee 308, 2016)

#### 3.3.4.4. Curado con arena o aserrín

Este método de curado se basa en colocar una capa de aserrín o arena la cual se satura con agua para que genere una retención de agua, esta mantendrá humectado el concreto (ACI Committee 308, 2016).

#### 3.3.4.5. Coberturas plásticas

Las coberturas son de peso ligero y están disponibles en hojas transparentes, blancas o negras (ACI Committee 308, 2016). Este método consiste en forrar el elemento de concreto para retener el agua de evaporación, impidiendo la evaporación por viento y reteniendo el agua en la cobertura plástica. Es una buena opción cuando la temperatura medio ambiental no es muy alta, debido que en climas cálidos aumenta la temperatura del concreto generando fisuras por contracción plástica (Kosmatka & Wilson, 2011)

#### 3.3.4.6. Membranas selladoras

Estas consisten en materiales que puedan evitar la evaporación del agua superficial por medio del contacto directo con el viento, por ejemplo: manteniendo la formaleta (es muy funcional cuando la fórmata es en madera ya que retiene la humedad y mantiene hidratado en concreto), membrana con algún vinilo grueso (material plástico), etc. La función de estos materiales es forrar el elemento de concreto para retener el agua de evaporación, impidiendo la evaporación por viento y reteniendo el agua en la cobertura. En climas cálidos es importante revisar que estas membranas no aumenten la temperatura del concreto a niveles muy altos, los cuales, puede generar fisuras por contracción plástica (ACI Committee 308, 2016)

#### 3.3.4.7. Compuesto de curado formadores de membrana

Son líquidos formadores de membrana que consisten en ceras, resinas, caucho clorado y otros materiales que pueden usarse para retardar o reducir la evaporación de la humedad del concreto (Kosmatka & Wilson, 2011).

Este método es uno de los más usados debido a su facilidad de colocación y sus costos (producto y mano de obra). Esta membrana debe garantizar un recubrimiento mínimo por metro cuadrado y lo podemos medir por medio del consumo del material (revisar ficha técnica del producto a utilizar). Estos productos generalmente vienen de color blanco, pero pueden tener otros colores.

#### 3.3.4.8. Métodos de curado natural

El curado por métodos naturales como lo son la lluvia, la neblina, humedad alta, baja temperatura, etc. son una buena opción de curado siempre y cuando se garantice que el concreto siempre tenga una película de humedad y no permita que la superficie del concreto se seque durante el tiempo mínimo de curado (ACI Committee 308, 2016).

### 3.4. Patologías en el concreto por mal curado

En consecuencia, por la realización de un mal curado del concreto se generan diferentes tipos de patologías que afectan en su durabilidad y resistencia, a continuación, hablaremos un poco más de ellas.

#### 3.4.1. Fisuración por contracción plástica

Esta patología se presenta generalmente por la evaporación acelerada del agua superficial del concreto debido a cambios volumétricos, estas fisuras se presentan rápidamente después de verter el concreto. Esta problemática es más común en superficies horizontales como placas o vías.

En otras palabras, es un desecamiento acelerado de la capa superficial del concreto, la cual, genera una humedad y una rigidez diferencial entre la superficie y el interior, probablemente porque la velocidad de secado es mayor a la velocidad de exudación del concreto (Guzman, 2001).

#### 3.4.2. Afectación de la durabilidad del concreto

Frecuentemente se considera que la característica más importante del concreto es su resistencia, pero se puede decir que no es así, la característica más significativa es su durabilidad (Taylor, 2013), un buen curado del concreto aumenta la resistencia a la abrasión, resistencia a la incrustación, a la corrosión, penetración de cloruro entre otras cualidades de la durabilidad (Poole, 2006), a continuación hablaremos de algunas de las más relevantes.

##### 3.4.2.1. Permeabilidad del concreto

La permeabilidad del concreto depende de la porosidad de la pasta de cemento y la porosidad de los agregados, también por los vacíos por mala compactación o por los vacíos generados por la evaporación del agua (Guzman, 2001), La insuficiencia de agua en el concreto genera que este no tenga la suficiente

agua para generar sus reacciones químicas aumentando la cantidad de vacíos en el concreto.

#### 3.4.2.2. Resistencia a la abrasión

Es la habilidad de una superficie de resistir el desgaste producido por una fricción, frotamiento, raspaduras o percusiones (Guzman, 2001), y es una de las principales propiedades afectadas por el mal curado del concreto (Poole, 2006). La superficie que está en contacto directo con el aire es la que tiene mayor daño por el mal curado del concreto, debido a que es la primera en evaporarse el agua, deteniendo la reacción química del cemento impactando directamente en su resistencia, porosidad, densidad, etc.

#### 3.4.2.3. Resistencia a la meteorización

El desgaste por meteorización es producida por dilataciones y contracciones por variaciones de temperatura y humedad por acción del sol, viento, lluvia, etc (Guzman, 2001). Para evitar el desgaste por meteorización el concreto debe tener una baja permeabilidad, además, no debe presentar grandes cambios volumétricos. Una baja resistencia a la meteorización es el resultado de un mal curado.

#### 3.4.2.4. Corrosión del acero

Los concretos permeables o con fisuras que se extienden hacia dentro de las superficies de concreto, contribuyen a la corrosión, ya que pueden permitir el ingreso de la humedad, aire y diferentes agentes contaminantes (Guzman, 2001).

## 4. Estado del conocimiento

El estado del conocimiento sobre el curado del concreto está basado en como medir el curado del concreto y como autocurarlo. Para entender más sobre estas áreas de investigación, hablaremos más sobre estos temas a continuación:

### 4.1. Técnica de Impedancia electromagnética EMI

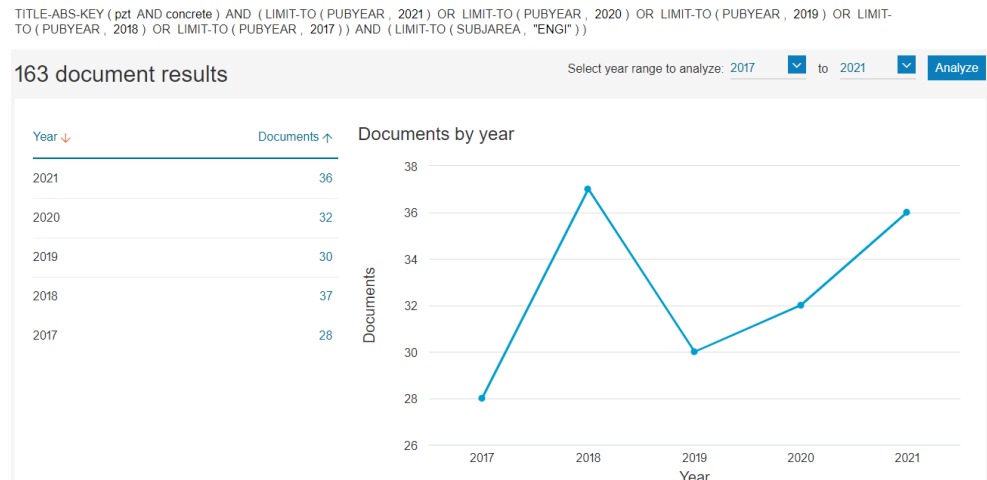
Esta técnica permite tener datos sobre el concreto en tiempo real, podría desempeñar un papel importante en el monitoreo de la salud estructural (SHM su sigla en inglés) (Thakur & Saurav, 2022). Además, tiene gran cantidad de investigaciones recientes y enfocadas en diferentes áreas de la ingeniería y ha demostrado experimentalmente que esta técnica es muy efectiva en el monitoreo de la hidratación a edades tempranas del concreto (Visalakshi Talakokula, 2018).

Según estadísticas de la plataforma Scopus, en los últimos 5 años se tienen ha publicado 30 artículos anualmente. En la figura 8 identificamos la cantidad de investigaciones realizadas en los últimos 5 años sobre la técnica de impedancia electromagnética, parches PZT y concreto, con más de 37 publicaciones en el año 2018, una caída de publicaciones en el año 2019, pero en los últimos dos años ha vuelto a coger fuerza esta área de investigación.



## Figura 8

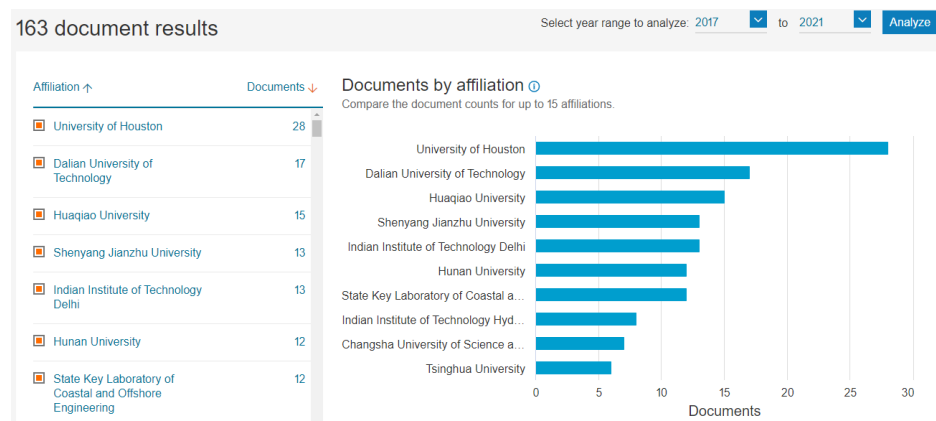
### Cantidad de publicaciones por año



*Nota:* Gráfica de cantidad de publicaciones por año sobre el tema investigado. Tomada de (Scopus - Analyze search results, s. f.).

## Figura 9

### Principales universidades que investigan este tema

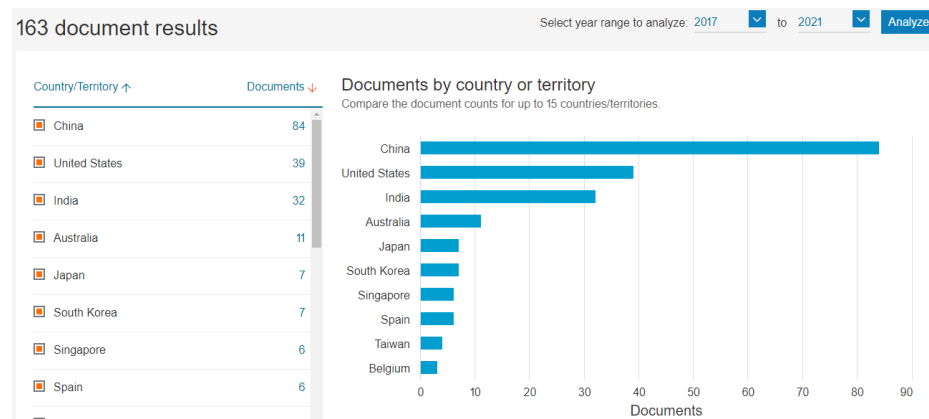


*Nota:* Gráfica de cantidad de publicaciones por año sobre el tema investigado. Tomada de (Scopus - Analyze search results, s. f.).

La figura 9 presenta las universidades donde más se está realizando este tipo de investigaciones en esta nueva tecnología. El país que más investigaciones está realizando sobre el método EMI y los parches PZT es china como lo identificamos en la Figura 9. Además de un gran número de investigaciones realizadas en estados unidos y otros países primermundistas.

## Figura 10

### Investigaciones realizadas por país



*Nota:* Grafica de cantidad de investigaciones por país. Tomada de (*Scopus - Analyze search results*, s. f.).

La figura 10 se evidencia que el país con más investigaciones sobre el método EMI y los parches PZT es china, además de un gran número de investigaciones realizadas en estados unidos y otros países primermundistas.

La técnica de impedancia electromecánica (EMI) ha validado su eficacia para monitorear la hidratación del concreto (Ai et al., 2020). Esta técnica es muy efectiva para la medición no destructiva de elementos en concreto en estado fresco o endurecido (Qin & Li, 2008). Para los ingenieros la capacidad de medir el desarrollo

de la resistencia de la concreto in situ es relevante porque ayuda a tomar decisiones del tiempo de desencofrar el concreto, identificar el desarrollo de las propiedades mecánicas de diferentes elementos estructurales y liberación adecuada de elementos a edades tempranas.

Los cronogramas en las obras son muy exigentes y generalmente se rige por temas financieros, el tiempo que se necesita para el endurecimiento del concreto es un factor crucial que afecta el avance y costos la obra (Lim et al., 2019). Debido a esto, se vuelve una gran herramienta poder evaluar el curado y evolución del concreto en obra.

Actualmente la liberación de estas actividades se basa en la los resultados de laboratorio de los cilindros de concreto, las curvas de evolución de los concretos utilizados en obra y la experiencia de los ingenieros, pero el desarrollo de las propiedades mecánicas del concreto se ven afectadas por condiciones físicas y ambientales, por lo tanto, es obligatorio monitorear la ganancia de resistencia de las estructuras a edades tempranas para evitar fallas en la construcción y evitar pérdidas económicas (Sonker et al., 2021).

Por esto se debe ser cuidadoso cuando se liberan estructuras, ya que en obra todavía evidenciamos problemas por la liberación temprana de los concretos, como placas desfondadas y elementos estructurales sobre esforzados a edades tempranas.

La técnica de impedancia electromagnética (EMI) por sus siglas en ingles electromechanical impedance, basada en piezoeléctricos es una opción viable para tales necesidades, además del monitoreo de la salud estructural (SHM), ayuda a

monitorear el proceso de hidratación del concreto desde las primeras horas y realizar el control hasta los 28 días (Visalakshi Talakokula, 2018).

Esta técnica nueva que aún está en desarrollo donde sus principales temas de investigación se basan en miniaturización del hardware, los métodos de instalación, la incorporación de tecnología inalámbrica, el modelado, la interpretación de datos, el procesamiento de señales, la influencia del curado y entre otras aplicaciones (Lim et al., 2019).

Soh y Bhalla propusieron este método para la medición de la resistencia del concreto a edades tempranas en situ (Soh & Bhalla, 2005) y desde entonces muchos investigadores se han interesado en esta investigación (oju J. Alexander, 2021), es un método no destructivo del concreto en el cual se adhiere un parche de titanio de circonato de plomo (PZT) de 10mm x 10mm x 3mm a la superficie del concreto se conecta a un lector de impedancia y ese lector de impedancia se conecta a un computador donde se analizarán los datos (Ver Figura 11).

## Figura 11

Equipos para la realización de la técnica EMI



*Nota:* Equipo necesario para EMI. Adaptada de (Lim et al., 2019)

La técnica consiste en aplicar un voltaje alterno a una PZT, esta experimenta una vibración, transfiriendo una tensión mecánica a la estructura anfitriona del parche. La respuesta vibratoria va a depender del tamaño y las propiedades de amortiguación de la muestra la cual alterara el comportamiento vibratorio en el parche PZT, modulando una corriente a través del parche. Esta corriente eléctrica que se presenta en forma de impedancia transfiere información sobre las propiedades mecánicas de la muestra como amortiguación, rigidez y resistencia. (Lim et al., 2019).

Se han estudiado otros métodos de instalación del PZT en el concreto para identificar mejores lecturas en el material donde se han realizado algunos avances.

En este método, lo más costoso es el analizador de impedancia, los cuales no son muy comerciales ya que miden muchas variables, como el analizador de impedancia en la imagen Hioki IM3570 (Japón) (Lim et al., 2019). Se han realizado investigaciones para disminuir el costo de estos equipos disminuyendo la cantidad de variables que pueden analizar dejándolos con lo necesario para aplicación puntual que se valla a utilizar.

Este método de impedancia electromecánica tiene el potencial de convertirse en un sistema de monitoreo autónomo y remoto, capaz de predecir el desarrollo de resistencia de estructuras de concreto en edad temprana en tiempo real (Lim et al., 2019).

#### 4.2.Método autocurado

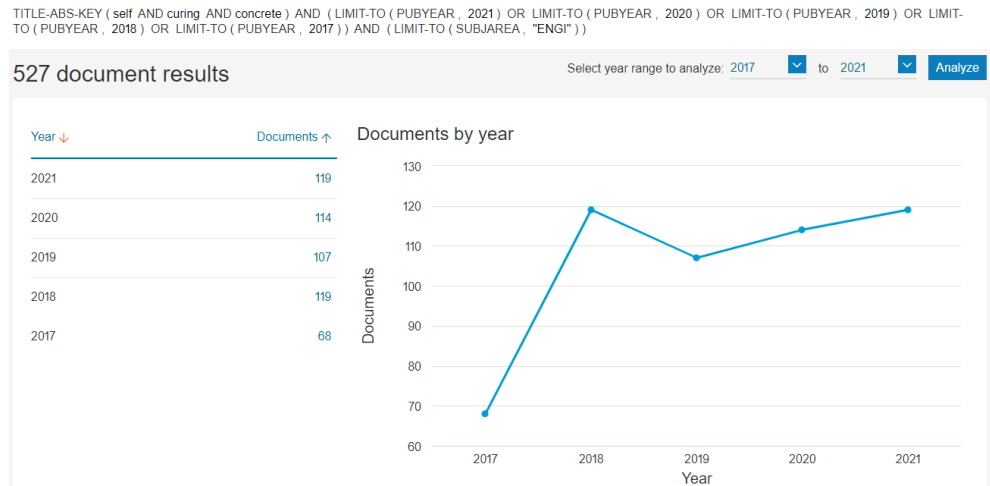
El concreto autocurado es un material que tiene la capacidad de mitigar la tasa de pérdida de agua y aumentar la capacidad del concreto de retener agua, este tipo de material permite agregar un agente curado interno el cual se llenara de agua al momento de mezcla y después liberara agua lentamente durante el tiempo de curado de la mezcla (Hamzah et al., 2022).

Según estadísticas de la plataforma Scopus en los últimos 5, En la figura 12 identificamos 527 investigaciones realizadas en los últimos 5 años sobre el autocurado del concreto donde identificamos cerca de 120 publicaciones en el año 2018. En la figura 13 se presenta las entidades donde más se está realizando este tipo de investigaciones, dándonos a conocer que universidades prestigiosas de diferentes países están viendo una gran oportunidad en esta nueva tecnología. En la figura 14

nos muestra los países que más investigaciones está realizando sobre concreto autocurado es india como lo identificamos en la gráfica, además de un gran número de investigaciones realizadas en china, estados unidos y otros países primermundistas.

## Figura 12

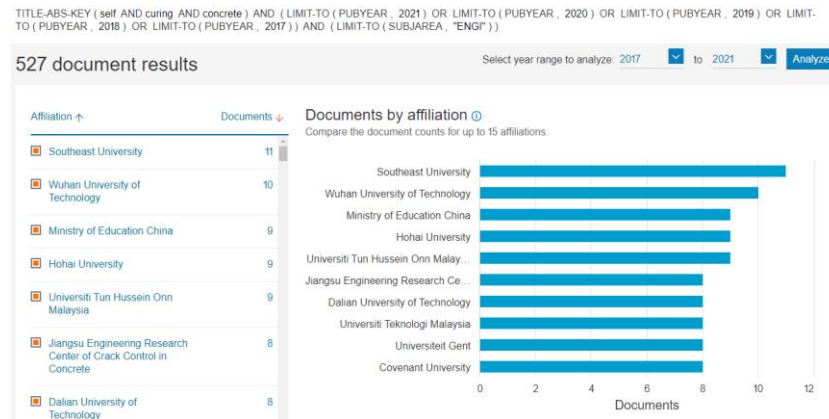
### Cantidad de publicaciones por año



*Nota:* Gráfica de cantidad de publicaciones por año sobre el tema investigado. Tomada de (Scopus - Analyze search results, s. f.).

**Figura 13**

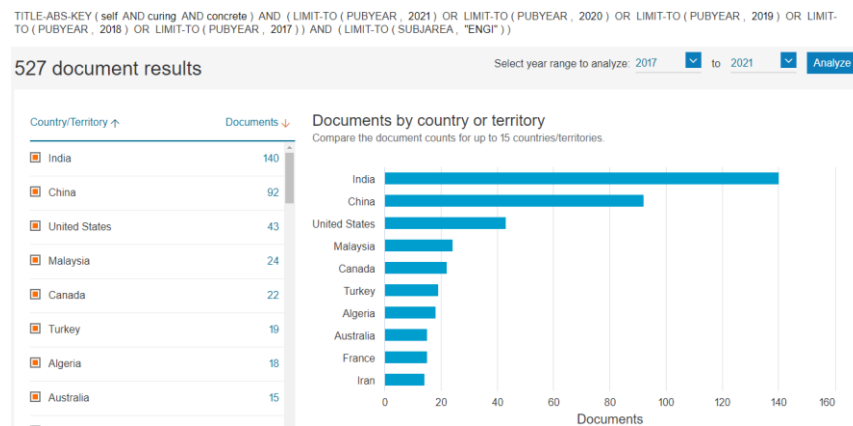
Entes que realizan publicaciones



*Nota:* Gráfica de cantidad de publicaciones por año sobre el tema investigado. Tomada de (Scopus - Analyze search results, s. f.).

**Figura 14**

Investigaciones sobre autocurado del concreto realizadas por país



*Nota:* Gráfica de cantidad de investigaciones por país. Tomada de (Scopus - Analyze search results, s. f.).



El autocurado del concreto se puede lograr con diferentes materiales como lo son:

- Artificial lightweight aggregate (LWA), agregado ligero artificial
- Polvos superfinos porosos
- Superabsorbent polymers (SAP), polímeros super absorbentes
- Polyethylene glycol (PEG)
- Fibras naturales
- Artificial normal-weight aggregate (ANWA), agregado artificial de peso normal.

El curado interno consiste en proveer de agua a material cementoso a partir de alguno de los materiales que lo componen, manteniendo el cemento hidratado y previniendo la auto desecación (Rodríguez-Álvaro et al., 2022). El concreto autocurado ha demostrado tener un efecto beneficio para la hidratación del concreto, mejorando las propiedades mecánicas, durabilidad, la susceptibilidad al agrietamiento, mitigando la contracción autógena y por secado (Hamzah et al., 2022).

Las mezclas de concreto de alto rendimiento (HPC) por sus siglas en ingles High-performance concrete, han visto necesidad de introducir la tecnología de autocurado debido a los crecientes problemas relacionados con la durabilidad del concreto (Carino & Meeks, 2001), debido al uso de relaciones agua cemento más bajas, inferiores a 0.42, donde el cemento no se alcanza hidratar debido a la falta de agua, por consiguiente se observo la oportunidad de los beneficios del concreto

autocurado para resolver el problema de la insuficiencia de agua de los concretos HPC (Hamzah et al., 2022).

Los materiales que retiene agua generalmente son porosos como las fibras y el polvo derivado de la madera tienen potencial como agentes de autocurado en materiales cementosos debido a su capacidad de absorber, retener agua y liberarla gradualmente (Jongvisuttisun et al., 2018), el agregado poroso generalmente se asocia con una mala calidad del concreto, pero si se utiliza para almacenar agua puede llegar a ser beneficio en el concreto (Hamzah et al., 2022),

Los polímeros super absorbentes (SAP), absorben grandes cantidades de agua y sirve como aditivo en el concreto para generar el curado interno ya que reduce la contracción y aumenta la resistencia del concreto (Mechtcherine et al., 2021).

Los aditivos reductores de la contracción (SRA), reduce la retracción, especialmente la retracción del concreto autógeno, ya que uno de los objetivos del autocurado es reducir la deformación autógena y final del concreto, el uso de este material puede producir compuestos cementosos con propiedades superiores (Ghiasvand et al., 2022).

Este método de auto curado es muy provechoso para el medio ambiente debido que se utilizan materiales artificiales y materiales producidos a partir de desechos contribuyendo positivamente a salvaguardar y proteger el medio ambiente orientando la construcción en un desarrollo sostenible (He et al., 2020), además de disminuir el uso de agua de curado en las obras debido a que no sería necesario realizar esta tarea.

En conclusión el método de autocurado proporciona una buena hidratación del cemento a través de la absorción de agua antes y durante el mezclado del concreto y agua absorbida se liberara durante el proceso de endurecimiento del concreto (Ma et al., 2019).

## **5. Diseño metodológico**

A continuación, se describe la campaña experimental para evaluar la variación en la resistencia del concreto de las muestras curadas en laboratorio contra concreto expuesto a la intemperie.

### **5.1. Investigación experimental**

Para determinar la variación de la resistencia de las muestras de concreto debido al tipo de curado realizado es necesario realizar ensayos de compresión de cilindros de concreto según la NTC 673. Se realizaron 2 muestras, cada muestra consta de 6 cilindros y se fallaron a 3, 12, 16 y 28 días. El material utilizado fue cemento estructural tipo 1 (Argos), el agregado mixto de río, una dosificación según el diseño de mezcla y una relación agua / cemento de 0.5.

### **5.2. Parámetros de análisis**

Como se expresó anteriormente la importancia de la investigación del proyecto es poder determinar la pérdida de resistencia del concreto en ausencia de un curado adecuado, en esta ocasión en la ciudad de Bogotá y en condiciones climatológicas del mes de abril del 2022.

Con estos ensayos se quiere demostrar que un mal curado de concreto afecta directamente a sus propiedades mecánicas la cual es un hecho según la teoría, además de

poder indicar un porcentaje de pérdida de capacidad de carga, el cual, pueda dar a los ingenieros un parámetro de medición para la toma de decisiones en obra.

Para la determinación de los métodos de curado recomendados para usar en la ciudad de Bogotá, delimitaremos el análisis a solo placas de entepiso de sistemas industrializado para tener variables más claras y así poder determinar un presupuesto más acertado sobre los costos del curado en los diferentes métodos estudiados.

### 5.3. Ensayos

Se realizó el diseño de mezcla, la toma de muestras, el curado del concreto y la falla de los cilindros de concreto bajo la normatividad respectiva para cada uno de los procesos.

#### 5.3.1. Diseño de mezcla

Los materiales que se utilizaron en el diseño de mezcla fueron mixtos de río, cemento argos y agua potable de grifo. En la tabla 1 encontramos datos iniciales para el cálculo del diseño de mezcla. En la tabla 2 encontramos los porcentajes pasa del ensayo de granulometría para la optimización del agregado. En la figura 15 encontramos la gráfica de optimización del agregado por el método de Fuller. En la tabla 3 encontramos los valores de los ensayos realizados para el diseño de mezcla. Las propiedades de los materiales se calcularon según su correspondiente normativa, NTC 92 masas unitarias, NTC 176 y NTC 237 densidad y absorción, NTC 1776 contenido de humedad. En la tabla 4 encontramos el diseño de mezcla por volumen y por peso.

**Tabla 1**

Datos iniciales

<b>Número de Agregados</b>	2	<b>Número de Tamices</b>	10
<b>Agregado Grueso</b>	55.00 %	<b>D<sub>max</sub></b>	12.7
<b>Agregado Fino</b>	45.00 %		
<b>Suma agregados</b> ✓	100 %		

*Nota:* Datos iniciales para el diseño de mezcla. Fuente: Autor.

**Tabla 2**

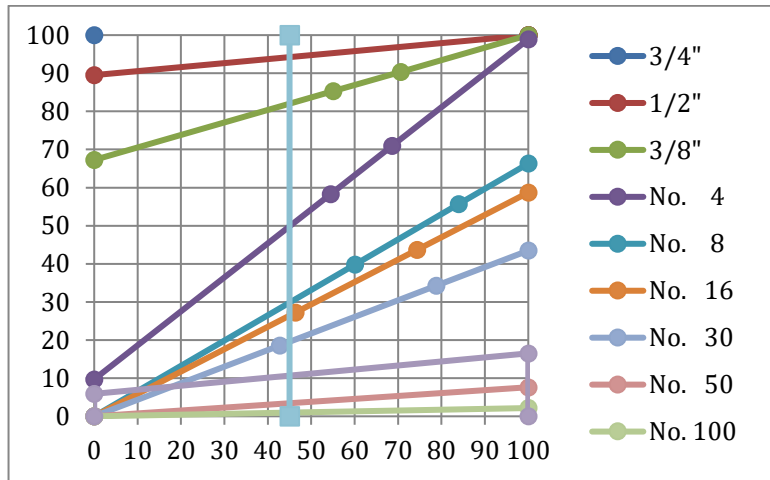
Granulometría

<b>CALCULO DE LA GRANULOMETRIA OPTIMA</b>										
Tamiz Normal	Tamiz Alterno	%Pasa Agregado Grueso	%Pasa Agregado Fino	Rango granulométrico		%Pasa Optimo Combinado	Limite superior		Limite inferior	
				Limite superior	Limite inferior		(y-y) <sup>2</sup>	(y-y) <sup>2</sup>	(y-y) <sup>2</sup>	(y-y) <sup>2</sup>
19.1	3/4"	100.00	100.00	115	125	✓ 100.00	235.73	3350.45	633.18	5929.89
12.7	1/2"	89.51	100.00	100	100	✓ 94.23	33.29	1808.77	33.29	2687.66
9.51	3/8"	67.26	100.00	90	85	✓ 81.99	70.20	1082.49	10.88	1378.97
4.76	No. 4	9.71	98.91	71	58	✓ 49.85	444.37	181.17	71.23	102.67
2.38	No. 8	0.00	66.30	56	40	✓ 29.84	666.45	3.31	99.56	69.63
1.19	No. 16	0.00	58.70	44	27	✓ 26.42	297.48	190.65	0.61	439.50
0.595	No. 30	0.00	43.48	34	19	✓ 19.57	215.83	538.86	0.99	875.21
0.297	No. 50	0.00	7.61	27	13	✓ 3.42	549.30	936.89	85.56	1259.04
0.149	No. 100	0.00	2.17	21	9	✓ 0.98	404.96	1322.79	59.23	1559.02
0.074	No. 200	0.00	0.00	17	6	✓ 0.00	272.77	1677.27	34.83	1785.53
<b>Suma</b>				<b>574.70</b>	<b>481.57</b>	<b>406.29</b>	<b>3190.38</b>	<b>11092.66</b>	<b>1029.35</b>	<b>16087.12</b>
<b>Promedio</b>				<b>57.47</b>	<b>48.16</b>	<b>40.63</b>	<b>319.04</b>	<b>1109.27</b>	<b>102.94</b>	<b>1608.71</b>
<b>R<sup>2</sup></b>		<b>0.844747302</b>								
<b>R</b>		<b>0.919101355</b>								

*Nota:* Material de río. Fuente: Autor.

**Figura 15**

Optimización de la granulometría



*Nota:* Método de Fuller. Fuente: Autor.

**Tabla 3**

Propiedades de los materiales

	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	f'c (kg/m <sup>2</sup> )	70	A/C	0.500
MUC (kg/m <sup>3</sup> )	1659	1738	Asentamiento (cm)	7.5	A (lts)	218.00
MUS (kg/m <sup>3</sup> )	1484	1220	TMN (mm)	12.70	C (kg)	436.00
Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )	2126	2487	Aire incluido (%)	FALSO	Densidad C (kg/m <sup>3</sup> )	2950
Absorción (%)	5.78	4.21	Textura (Rugoso = True) (Liso = False)	VERDADERO		
Humedad (%)	3.2	5.3				

*Nota:* Se realizaron los diferentes ensayos de los materiales. Fuente: Autor.

**Tabla 4**

Diseño de mezcla

MATERIAL	PESO W (kg/m <sup>3</sup> )	DENSIDAD D (kg/m <sup>3</sup> )	VOLUMEN V (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	AJUSTE POR HUMEDAD W (kg/m <sup>3</sup> )
Cemento	436.00	2950.00	0.14780	436.00
Agua	218.00	1000.00	0.21800	231.71
Aire	0.00	0.00	0.02500	0.00
Grava	766.77	2126.00	0.36066	790.54
Arena	627.36	2487.00	0.25226	660.61
<b>TOTAL</b>	<b>2048.13</b>		<b>1.00</b>	<b>2118.86</b>

*Nota:* Diseño de mezcla para un metro cubico, por volumen y por peso. Fuente: Autor.

### 5.3.2. Toma de muestras

La toma de muestras se realizó bajo las especificaciones de la NTC 550, se realizaron 16 cilindros 6'' x 12'' en el laboratorio de la Universidad Antonio Nariño sede circunvalar, como lo observamos en las siguientes imágenes:



## Figura 16

Toma de muestra de concreto



*Nota:* Laboratorio UAN, sede circunvalar. Fuente: Autor.

### 5.3.3. Curado del concreto

En la toma de muestras se realizaron 16 cilindros, los cuales, se dividieron en 2 muestras, cada muestra con 8 cilindros, estas 2 muestras se separaron de la siguiente forma:

- Muestras A: Curado intemperie
- Muestras B: Curado pileta laboratorio

La muestra A se dejó en la intemperie de la terraza del edificio del laboratorio, como se puede observar en la Figura 17.

## Figura 17

Muestra A dejada a la Intemperie



*Nota:* Laboratorio UAN, terraza, sede circunvalar. Fuente: Autor.

La muestra B se dejó en la pileta del laboratorio de la Universidad (Ver Figura 18), cabe resaltar que la temperatura promedio de la pileta es de  $14^{\circ}\text{C}$ , por debajo de lo solicitado en la NTC 1377 la cual nos indica que la pileta debe de tener una temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , esta temperatura de la pileta lo que generara es el retraso de las propiedades mecánicas del concreto.

## Figura 18

Muestra B dejada en la pileta



*Nota:* Laboratorio UAN, sede circunvalar. Fuente: Autor.

### 5.3.4. Falla de cilindros

El ensayo de compresión de los cilindros de concreto se realizó bajo las especificaciones de la NTC 673, se realizó en la prensa universal de la Universidad Antonio Nariño (Ver Figura 19), a una velocidad de 0.25 MPa como lo indica la norma. Se fallaron de a 2 cilindros por muestra en las siguientes edades: 3, 12, 16 y 28 días.

## Figura 19

Prensa para falla de cilindros



*Nota:* Laboratorio UAN, sede circunvalar. Fuente: Autor.

## 5.4. Marco geográfico

Los ensayos de laboratorio se realizaron en el laboratorio de la universidad Antonio Nariño en la sede circunvalar, Bogotá, Colombia (Ver Figura 20).

## Figura 20

Ubicación del laboratorio de la Universidad Antonio Nariño



*Nota:* Laboratorio UAN, sede circunvalar, Bogotá D.C. Fuente: (Google Maps, s. f.).

## 6. Resultados y análisis

En este capítulo se presentan los resultados de los ensayos a las muestras de concreto y se identificarán los tipos de curado viables para las obras realizadas en la ciudad de Bogotá.

### 6.1. Resultados y análisis realizados al concreto

Para determinar la variación de la resistencia de las muestras de concreto debido al tipo de curado realizado es necesario realizar ensayos de compresión de cilindros de concreto según la NTC 673. Los resultados de los ensayos realizados a los 3 días se presentan en la Tabla 5.

**Tabla 5**

Resultados de la resistencia a la compresión a los 3 días

# Cilindro	Muestra A Intemperie	Muestra B Pileta
	Edad 3 días - Resultado Mpa	
1.1	3.23	2.8
1.2	3.21	2.97
Promedio	3.22	2.89
	Diferencia (Mpa)	-0.34
	% Diferencia	-10.40

*Nota:* Comparación de resultados muestras intemperie y pileta. Fuente: Autor.

Como se puede evidenciar en la Tabla 5, el concreto que estaba expuesto a la intemperie obtuvo mayor resistencia a la compresión que el concreto que estaba en la pileta, consecuencia de la baja temperatura del agua de pileta de curado. La temperatura del concreto expuesto a la intemperie para este caso fue mayor que la temperatura que estaba en

la pileta por consiguiente el desarrollo de las propiedades mecánicas del concreto expuesto a la intemperie fue mayor. Como se evidencian en la tabla 6, la resistencia a compresión a los 12 días de los cilindros de concreto que estaban en la pileta consiguieron un 20% más que los concretos expuestos a la intemperie.

**Tabla 6**

Resultados de la resistencia a la compresión a 12 días

# Cilindro	Muestra A Intemperie	Muestra B Pileta
	Edad 12 días - Resultado Mpa	
2.1	4.76	5.78
2.2	4.81	5.78
Promedio	4.79	5.78
	Diferencia (Mpa)	1.00
	% Diferencia	20.79

*Nota:* Comparación de resultados muestras intemperie y pileta. Fuente: Autor.

**Tabla 7**

Resultados de la resistencia a la compresión a los 16 días

# Cilindro	Muestra A Intemperie	Muestra B Pileta
	Edad 16 días - Resultado Mpa	
3.1	5.23	6.15
3.2	5.40	6.12
Promedio	5.32	6.14
	Diferencia (Mpa)	0.82
	% Diferencia	15.43

*Nota:* Comparación de resultados muestras intemperie y pileta. Fuente: Autor.

En la tabla 7, una vez más podemos identificar que la muestra de cilindros en la pileta dio mayor que las muestras dejadas en la intemperie, la mejoría de la resistencia de las muestras de la intemperie puede ser debido a los días lluviosos que se están presentando en la ciudad de Bogotá en este mes.

**Tabla 8**

Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días

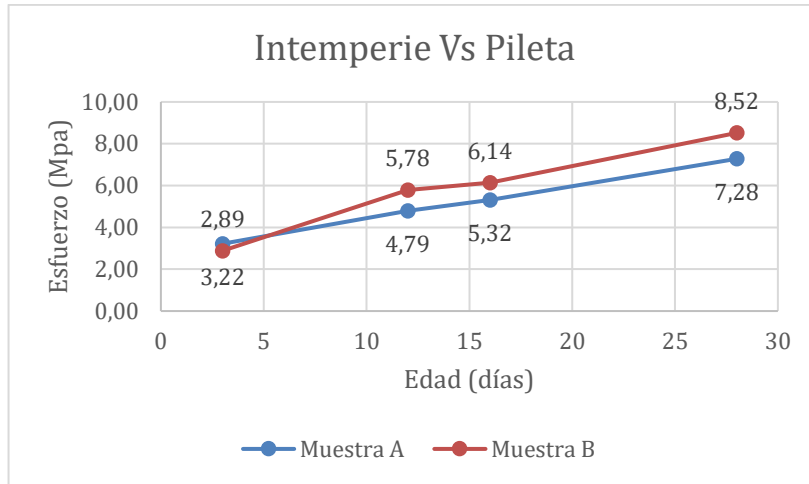
# Cilindro	Muestra A Intemperie	Muestra B Pileta
	Edad 28 días - Resultado Mpa	
4.1	6.92	8.35
4.2	7.64	8.69
Promedio	7.28	8.52
	Diferencia (Mpa)	1.24
	% Diferencia	17.03

*Nota:* Comparación de resultados muestras intemperie y pileta. Fuente: Autor.

En la figura 21 se presenta la comparación de evolución de la resistencia a compresión de las probetas dejadas a la intemperie y las probetas curadas en la pileta. En la figura 22 se visualizan los porcentajes de la diferencia de resistencia de la resistencia a compresión.

**Figura 21**

Comparación de muestras de la evolución de la resistencia entre las probetas dejadas a la intemperie y las curadas en la pileta

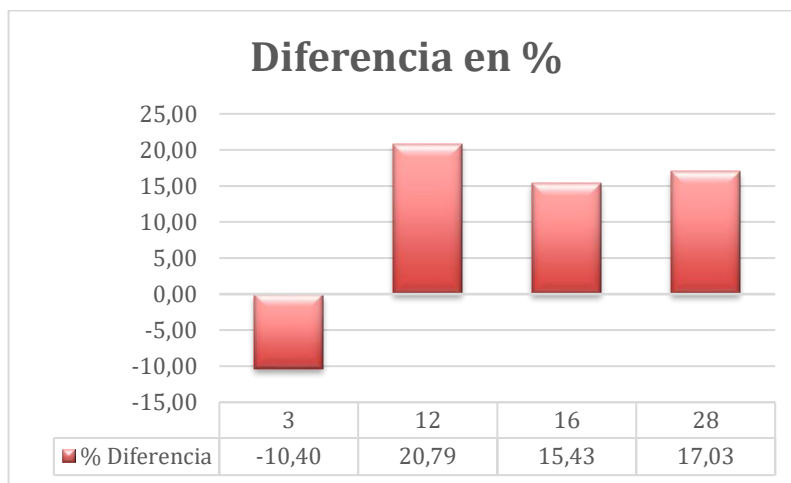


*Nota:* Comparación de resultados muestras intemperie y pileta. Fuente: Autor.

En todo el proceso de estos ensayos a compresión de las muestras de los cilindros de concreto a la intemperie y en la pileta del laboratorio se pudo evidenciar que las muestras que están en la intemperie tienen una pérdida de capacidad de desarrollo de resistencia como se evidencia en la figura 21.

**Figura 22**

Porcentaje de diferencia de la resistencia entre los dos tipos de curados





*Nota:* Comparación de resultados muestras intemperie y pileta. Fuente: Autor.

Estos resultados van alineados a la teoría y evidencia la necesidad de realizar el curado para garantizar el desarrollo de las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto, la mejoría de la resistencia de las muestras de la intemperie puede ser debido a los días lluviosos que se están presentando en la ciudad de Bogotá en este mes. la evidencia de la pérdida de resistencia fue hasta de un 21%, lo que es bastante significativo teniendo en cuenta la forma actual como se evalúan los concretos. También podemos evidenciar que como mínimo hay una pérdida de resistencia del 15% en comparación de un concreto con una buena hidratación.

## 6.2. Análisis de métodos de curado

A continuación, se analizarán diferentes los métodos de curado del concreto para las obras en la ciudad de Bogotá con base en un análisis de costos.

### 6.2.1. Aplicación adicional de agua

Este método aparte de ser el más tradicional, es muy efectivo y práctico de realizar, los costos están relacionados al precio del 1 m<sup>3</sup> de agua que fácilmente lo pueden suministrar desde el grifo de la llave, lo más costoso para este método sería tener el personal realizando por lo menos 3 veces al día el curado del concreto durante los 7 días, en la tabla 9 se resume ver el costo por 1 m<sup>2</sup> de esta actividad que asciende en costo directo a 4133 COP el m<sup>2</sup>.

**Tabla 9**

APU para el curado mediante el riego de agua

APU				
DATOS ESPECÍFICOS				
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	
1	Aplicación de agua adicional	M2	1	
<b>1. EQUIPO Y TRANSPORTE</b>				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	TARIFA	RENDIMIENTO	VALOR UNITARIO
HERRAMIENTA MENOR	GL	2000	0.3	600
SUBTOTAL				600
<b>2. MATERIALES</b>				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR UNITARIO
Agua	M3	0.05	4000.00	200.00
SUBTOTAL				200.00
<b>3. MANO DE OBRA</b>				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VALOR UNITARIO
Hora hombre	HH	6666.67	0.5	3333.33
SUBTOTAL				3333.33
TOTAL APU				4133.33
<b>4. ADMINISTRATIVO</b>				
DESCRIPCIÓN	TOTAL APU	%	VALOR UNITARIO	
ADMINISTRACION DE OBRA	4133.33	5%	206.67	
IMPREVISTO		5%	206.67	
UTILIDAD CONTRATISTA		5%	206.67	
ESTUDIOS Y DISEÑOS		5%	206.67	
GATOS FINANCIEROS		5%	206.67	
SUBTOTAL			1033.33	
TOTAL APU + ADMINISTRACION			5167	

*Nota:* APU del costo de la aplicación de agua por el método tradicional durante los 7 días de curado solicitado en la norma. Fuente: Autor.

### 6.2.2. Estanqueamiento e inmersión

Este método es bastante complicado de realizar ya que se necesita tener embebido la placa por los 7 días del curado que indica la norma, donde no se podrían

realizar actividades en esas zonas y por lo cual generaría sobrecostos por actividades detenidas en obra. El APU de este método se añade a este documento en el anexo 1.

- Costo aproximado por  $1 \text{ m}^2 = \$95.158 \text{ COP}$

#### 6.2.3. Nebulización y aspersion

Este método requiere de una constante aplicación de agua, casi que permanente aplicación de agua sobre el concreto para evitar la evaporación superficial del agua, esto es debido a los cambios bruscos del clima en la ciudad Bogotá. Parámetros como el viento y temperatura vuelven necesario pensar en una forma de garantizar el riego constante de agua sobre el concreto, el cual, elevaría los costos en términos de una infraestructura que realmente garantice un buen curado en el concreto. El APU de este método se añade a este documento en el anexo 2.

- Costo aproximado por  $1 \text{ m}^2 = \$5.992 \text{ COP}$

#### 6.2.4. Curado con arena o aserrín

Este método es costoso, debido al costo de la arena y los movimientos necesarios del material para poderlo disponerlo en las zonas donde se necesite realizar el curado del concreto, temas como costo de personal y maquinaria lo vuelve inviable económicamente. El APU de este método se añade a este documento en el anexo 3.

- Costo aproximado por  $1 \text{ m}^2 = \$99.283 \text{ COP}$

#### 6.2.5. Coberturas plásticas

Es una buena opción, de bajo costo, la ciudad de Bogotá tiene un buen clima para la realización de este curado, este método es bastante practico para elementos estructurales como vigas y columnas, para placas es un poco complicado ya que el viento generalmente levanta ese tipo de recubrimiento debido a que este recubrimiento es un material plástico de bajo peso. El APU de este método se añade a este documento en el anexo 4.

- Costo aproximado por  $1 \text{ m}^2 = \$6.550 \text{ COP}$

#### 6.2.6. Membranas selladoras

Es una buena opción, de bajo costo para sistemas industrializados ya que se puede reutilizar las membranas, generalmente usadas para placas debido a que el peso de la membrana es considerable y el viento no la puede levantar fácilmente. El APU de este método se añade a este documento en el anexo 5.

- Costo aproximado por  $1 \text{ m}^2 = \$4.900 \text{ COP}$

#### 6.2.7. Compuestos formadores de membranas

Es una buena opción para utilizar en vigas, columnas, pantallas, vías, elementos donde no se necesite que transite las personas al otro día de verter el concreto, debido que el tránsito de vehículos o personas sobre un concreto que se halla colocado algún producto de curado lo levantará por medio de la fricción de los zapatos o llantas en el concreto. El APU de este método se añade a este documento en el anexo 6.

- Costo aproximado por  $1 \text{ m}^2 = \$2.292 \text{ COP}$

#### 6.2.8. Método de curado natural

Este método no es viable debido a los cambios bruscos de temperatura de la ciudad y la velocidad del viento que ayudan a la evaporación rápida del agua presente en el concreto, además, como lo vemos en la parte de investigación de este documento, la pérdida de resistencia por curado natural en la ciudad de Bogotá es hasta de un 21%.

## **Conclusiones**

De acuerdo con los avances tecnológicos relacionados con el curado del concreto se puede concluir que el método de EMI es un gran avance para el control de la calidad del concreto en tiempo real y ayuda a los ingenieros a tomar decisiones críticas.

De acuerdo con los resultados de los ensayos a compresión de las muestras de los cilindros de concreto a la intemperie y en la pileta del laboratorio, se pudo evidenciar que las muestras que están en la intemperie tienen una pérdida de capacidad de desarrollo de resistencia de hasta 21% en comparación con los cilindros de concreto que estaban en la pileta del laboratorio.

Se recomienda el curado de la forma tradicional adicionando agua al concreto directamente, debido a que es una de las formas más económicas y efectivas de garantizar un curado adecuado del concreto.

Otro método que se recomienda es el curado por medio de membranas selladoras, durante el primer día y después por medio de aplicación de agua adicional, esto para poder dar paso a las actividades que necesiten para el avance de las obras.

## Anexos

Se anexan APU de los métodos de curado analizados para la ciudad de Bogotá, análisis para placas de entropiso de sistemas industrializados.

### Anexos 1 APU Curado por método de estanqueamiento

APU			
DATOS ESPECÍFICOS			
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
2	Estanqueamiento e inmerción	M2	1

#### 1. EQUIPO Y TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	TARIFA	RENDIMIENTO	VALOR UNITARIO
HERRAMIENTA MENOR	GL	2000	0.3	600
GRUA	HORA	3700000	0.02	74000
SUBTOTAL				74600

#### 2. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR UNITARIO
Agua	M3	0.04	4000.00	160.00
Arena	M3	0.01	70000.00	700.00
SUBTOTAL				860.00

#### 3. MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VALOR UNITARIO
Hora hombre	HH	6666.67	0.1	666.67
SUBTOTAL				666.67

TOTAL APU	76126.67
-----------	----------

#### 4. ADMINISTRATIVO

DESCRIPCIÓN	TOTAL APU	%	VALOR UNITARIO
ADMINISTRACION DE OBRA	76126.67	5%	3806.33
IMPREVISTO		5%	3806.33
UTILIDAD CONTRATISTA		5%	3806.33
ESTUDIOS Y DISEÑOS		5%	3806.33
GATOS FINANCIEROS		5%	3806.33
SUBTOTAL			19031.67

TOTAL APU + ADMINISTRACION	95158
----------------------------	-------

## Anexos 2 APU Curado por método de aspersión

APU			
DATOS ESPECÍFICOS			
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
3	Nebulización y aspersión	M2	1

### 1. EQUIPO Y TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	TARIFA	RENDIMIENTO	VALOR UNITARIO
HERRAMIENTA MENOR	GL	2000	0.3	600
Aspersor Manual	UN	70000	0.01	700
SUBTOTAL				1300

### 2. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR UNITARIO
Agua	M3	0.04	4000.00	160.00
SUBTOTAL				160.00

### 3. MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VALOR UNITARIO
Hora hombre	HH	6666.67	0.5	3333.33
SUBTOTAL				3333.33

TOTAL APU	4793.33
-----------	---------

### 4. ADMINISTRATIVO

DESCRIPCIÓN	TOTAL APU	%	VALOR UNITARIO
ADMINISTRACION DE OBRA	4793.33	5%	239.67
IMPREVISTO		5%	239.67
UTILIDAD CONTRATISTA		5%	239.67
ESTUDIOS Y DISEÑOS		5%	239.67
GATOS FINANCIEROS		5%	239.67
SUBTOTAL			1198.33

TOTAL APU + ADMINISTRACION	5992
----------------------------	------



### Anexos 3 APU Curado con arena

APU			
DATOS ESPECÍFICOS			
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
4	Curado con arena o aserrín	M2	1

#### 1. EQUIPO Y TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	TARIFA	RENDIMIENTO	VALOR UNITARIO
HERRAMIENTA MENOR	GL	2000	0.3	600
GRUA	HORA	3700000	0.02	74000
SUBTOTAL				74600

#### 2. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR UNITARIO
Agua	M3	0.04	4000.00	160.00
Arena	M3	0.05	80000.00	4000.00
SUBTOTAL				4160.00

#### 3. MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VALOR UNITARIO
Hora hombre	HH	6666.67	0.1	666.67
SUBTOTAL				666.67

TOTAL APU	79426.67
-----------	----------

#### 4. ADMINISTRATIVO

DESCRIPCIÓN	TOTAL APU	%	VALOR UNITARIO
ADMINISTRACION DE OBRA	79426.67	5%	3971.33
IMPREVISTO		5%	3971.33
UTILIDAD CONTRATISTA		5%	3971.33
ESTUDIOS Y DISEÑOS		5%	3971.33
GATOS FINANCIEROS		5%	3971.33
SUBTOTAL			19856.67

TOTAL APU + ADMINISTRACION	99283
----------------------------	-------

### Anexos 4 APU Curado por método de coberturas plásticas

APU			
DATOS ESPECÍFICOS			
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
5	Coberturas plasticas	M2	1

#### 1. EQUIPO Y TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	TARIFA	RENDIMIENTO	VALOR UNITARIO
HERRAMIENTA MENOR	GL	2000	0.1	200
SUBTOTAL				200

#### 2. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR UNITARIO
Agua	M3	0.06	4000.00	240.00
Plastico negro cal 3	M2	1	1466.67	1466.67
SUBTOTAL				1706.67

#### 3. MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VALOR UNITARIO
Hora hombre	HH	6666.67	0.5	3333.33
SUBTOTAL				3333.33

TOTAL APU			5240.00
-----------	--	--	---------

#### 4. ADMINISTRATIVO

DESCRIPCIÓN	TOTAL APU	%	VALOR UNITARIO
ADMINISTRACION DE OBRA	5240.00	5%	262.00
IMPREVISTO		5%	262.00
UTILIDAD CONTRATISTA		5%	262.00
ESTUDIOS Y DISEÑOS		5%	262.00
GATOS FINANCIEROS		5%	262.00
SUBTOTAL			1310.00

TOTAL APU + ADMINISTRACION			6550
----------------------------	--	--	------

## Anexos 5 APU Curado por método de membranas selladoras

APU			
DATOS ESPECÍFICOS			
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
6	Membranas selladoras	M2	1

### 1. EQUIPO Y TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	TARIFA	RENDIMIENTO	VALOR UNITARIO
HERRAMIENTA MENOR	GL	2000	0.1	200
SUBTOTAL				200

### 2. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR UNITARIO
Agua	M3	0.06	4000.00	240.00
Lona	M2	1	146.43	146.43
SUBTOTAL				386.43

### 3. MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VALOR UNITARIO
Hora hombre	HH	6666.67	0.5	3333.33
SUBTOTAL				3333.33

TOTAL APU	3919.76
-----------	---------

### 4. ADMINISTRATIVO

DESCRIPCIÓN	TOTAL APU	%	VALOR UNITARIO
ADMINISTRACION DE OBRA	3919.76	5%	195.99
IMPREVISTO		5%	195.99
UTILIDAD CONTRATISTA		5%	195.99
ESTUDIOS Y DISEÑOS		5%	195.99
GATOS FINANCIEROS		5%	195.99
SUBTOTAL			979.94

TOTAL APU + ADMINISTRACION	4900
----------------------------	------

## Anexos 6 APU Curado por método de compuestos formadores de membranas

APU			
DATOS ESPECÍFICOS			
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
7	Compuestos formadores de membranas	M2	1

### 1. EQUIPO Y TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	TARIFA	RENDIMIENTO	VALOR UNITARIO
HERRAMIENTA MENOR	GL	2000	0.1	200
Aspersor Manual	UN	70000	0.01	700
SUBTOTAL				900

### 2. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR UNITARIO
Agua	M3	0.01	4000.00	40.00
Contrasol	M2	1	1120.00	1120.00
SUBTOTAL				1160.00

### 3. MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VALOR UNITARIO
Hora hombre	HH	6666.67	0.05	333.33
SUBTOTAL				333.33

TOTAL APU	2393.33
-----------	---------

### 4. ADMINISTRATIVO

DESCRIPCIÓN	TOTAL APU	%	VALOR UNITARIO
ADMINISTRACION DE OBRA	2393.33	5%	119.67
IMPREVISTO		5%	119.67
UTILIDAD CONTRATISTA		5%	119.67
ESTUDIOS Y DISEÑOS		5%	119.67
GATOS FINANCIEROS		5%	119.67
SUBTOTAL			598.33

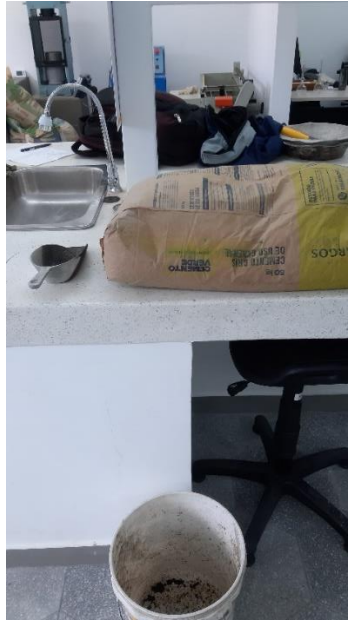
TOTAL APU + ADMINISTRACION	2992
----------------------------	------

Se anexan fotos de la realización de los ensayos de laboratorio en la universidad.

**Anexos 7 Toma de peso de material para la mezcla de concreto**



## Anexos 8 Cemento argos tipo 1



## Anexos 9 Toma de muestras de concreto



### **Anexos 10 Cilindros en la pileta**



### **Anexos 11 Ensayos a compresión**



## Anexos 12 Tamices para granulometría



## Anexos 13 Toma de muestras para ensayos





### Anexos 14 Secado del material



### Anexos 15 Ensayo de compresión



## Referencias Bibliográficas

- A, A. S., & D, R. G. (2010). *Tecnología del hormigón avanzada*. Ediciones UC.
- ACI 308R-01. (2009). *Guía para el curado del concreto ACI 308R-01*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- ACI Committee 305. (2014). *Specification for hot weather concreting: An ACI standard*. American Concrete Institute.
- ACI Committee 306 & American Concrete Institute. (2016). *Guide to cold weather concreting*.
- ACI Committee 308. (2016). *Guide to external curing of concrete*.
- Ai, D., Lin, C., & Zhu, H. (2020). Embedded piezoelectric transducers based early-age hydration monitoring of cement concrete added with accelerator/retarder admixtures: *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*.  
<https://doi.org/10.1177/1045389X20969916>
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, & Colombia. Ministerio del Medio Ambiente, V. y D. T. (2010). *Reglamento colombiano de construcción sísmo resistente NSR-10*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- Carino, N. J., & Meeks, K. W. (2001). *CURING OF HIGH-PERFORMANCE CONCRETE: PHASE I STUDY* (NISTIR 6505). Article NISTIR 6505.  
<https://trid.trb.org/view/696703>
- Cusens, A. R. (1976). Concrete technology: D. F. Orchard 3rd Edition, Volume 3. The Properties and Testing of Aggregates. Applied Science, London. 281 pp. £10.00

(1976). *Building and Environment*, 11(3), 215. [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(76\)90009-3](https://doi.org/10.1016/0360-1323(76)90009-3)

Ghiasvand, H., Bastami, M., & Farokhzad, R. (2022). Enhancing the internal curing process of self-compacting concrete containing lightweight aggregate and chemical additives. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 1-19. <https://doi.org/10.1080/19648189.2022.2026824>

*Google Maps*. (s. f.). Google Maps. Recuperado 16 de mayo de 2022, de <https://www.google.es/maps/place/Universidad+Antonio+Nari%C3%B1o+Sede+Circunvalar/@4.6333484,-74.0608501,17z/data=!3m1!4m5!3m4!1s0x8e3f9a23854b42df:0x373637379742cb3c!8m2!3d4.6333484!4d-74.0586614?hl=es>

Guzman, D. S. de. (2001). *TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO*. Pontificia Universidad Javeriana.

Hamzah, N., Mohd Saman, H., Baghban, M. H., Mohd Sam, A. R., Faridmehr, I., Muhd Sidek, M. N., Benjeddou, O., & Huseien, G. F. (2022). A Review on the Use of Self-Curing Agents and Its Mechanism in High-Performance Cementitious Materials. *Buildings*, 12(2), 152. <https://doi.org/10.3390/buildings12020152>

He, J., Kawasaki, S., & Achal, V. (2020). The Utilization of Agricultural Waste as Agro-Cement in Concrete: A Review. *Sustainability*, 12(17), 6971. <https://doi.org/10.3390/su12176971>

Jongvisuttisun, P., Leisen, J., & Kurtis, K. E. (2018). Key mechanisms controlling internal curing performance of natural fibers. *Cement and Concrete Research*, 107, 206-220. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.02.007>

- Kosmatka, S. H., & Wilson, M. L. (2011). *The guide to applications, methods, and materials*.
- Lim, Y. Y., Smith, S. T., Padilla, R. V., & Soh, C. K. (2019). Monitoring of concrete curing using the electromechanical impedance technique: Review and path forward: *Structural Health Monitoring*. <https://doi.org/10.1177/1475921719893069>
- Ma, X., Liu, J., & Shi, C. (2019). A review on the use of LWA as an internal curing agent of high performance cement-based materials. *Construction and Building Materials*, 218, 385-393. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.126>
- Mechtcherine, V., Wyrzykowski, Mateusz, Schröfl, Christof, Snoeck, Didier, Lura, Pietro, De Belie, Nele, Mignon, Arn, Van Vlierberghe, Sandra, Klemm, Agnieszka J., Almeida, F. C. R., & Tenório Filho, J. R., Boshoff, William Peter, Reinhardt, Hans-Wolf, Igarashi, Shin-Ichi. (2021). Application of super absorbent polymers (SAP) in concrete construction update of RILEM state-of-the-art report. *Material Structures and Structures*, 54(2).
- oju J. Alexander, P. S. (2021). Embedded dual PZT-based monitoring for curing of concrete. *Construction and Building Materials*, 312, 125316. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125316>
- Poole, T. S. (2006). *Guide for curing of Portland cement concrete pavements: Volume II*.
- Qin, L., & Li, Z. (2008). Monitoring of cement hydration using embedded piezoelectric transducers. *Smart Materials and Structures*, 17(5), 055005. <https://doi.org/10.1088/0964-1726/17/5/055005>
- Rodríguez-Álvaro, R., González-Fonteboa, B., Seara-Paz, S., & Tenza-Abril, A. J. (2022). Wood ash versus expanded clay aggregate as internal curing water reservoirs in

high performance concrete. *Materials and Structures*, 55(4), 1-13.

<https://doi.org/10.1617/s11527-022-01963-3>

Scopus—Analyze search results. (s. f.). Recuperado 11 de mayo de 2022, de

<https://ezproxy.uan.edu.co:2063/term/analyzer.uri?sid=600c97d5311cb44068b789e41525d9ec&origin=resultslist&src=s&s=TITLE-ABS-KEY%28pzt+concrete%29&sort=plf-f&sdt=cl&sot=b&sl=27&count=163&analyzeResults=Analyze+results&cluster=scopubyr%2c%222021%22%2ct%2c%222020%22%2ct%2c%222019%22%2ct%2c%222018%22%2ct%2c%222017%22%2ct%2b%2c%2bscosubjabbr%2c%22ENGI%22%2ct&txGid=47444840c2553e8aa99914f3487114cd>

Soh, C. K., & Bhalla, S. (2005). Calibration of piezo-impedance transducers for strength prediction and damage assessment of concrete. *Smart Materials and Structures*, 14(4), 671-684. <https://doi.org/10.1088/0964-1726/14/4/026>

Sonker, T., Rawat, A., & Kumar, R. (2021). Monitoring Methods of Concrete from Early Age Strength Gain of Concrete: A Review. *Recent Trends in Civil Engineering*, 659-678. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-5195-6\\_52](https://doi.org/10.1007/978-981-15-5195-6_52)

Taylor, P. C. (2013). *Curing Concrete*. CRC Press.

Thakur, A., & Saurav. (2022). Structural Health Monitoring Through the Application of Piezoelectric Sensors – State of the Art Review. *Advances in Construction Materials and Sustainable Environment*, 657-673. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-6557-8\\_54](https://doi.org/10.1007/978-981-16-6557-8_54)

Visalakshi Talakokula, S. B. (2018). Monitoring early hydration of reinforced concrete structures using structural parameters identified by piezo sensors via

electromechanical impedance technique. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 99, 129-141. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2017.05.042>