

Fecha de presentación: julio, 2021, Fecha de Aceptación: agosto, 2021, Fecha de publicación: septiembre, 2021

40

## TÉCNICA DIDÁCTICA EN EL PROCESO EXPERIMENTAL DE CURADO CON DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>) EN LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO

### DIDACTIC TECHNIQUE IN THE EXPERIMENTAL PROCESS OF CURING WITH CARBON DIOXIDE (CO<sub>2</sub>) IN REINFORCED CONCRETE SLABS

Raissa Leticia Rojas Franco<sup>1</sup>

E-mail: [rrojasf@ulvr.edu.ec](mailto:rrojasf@ulvr.edu.ec)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6007-1842>

Genaro Gaibor Espín<sup>1</sup>

E-mail: [ggaibore@ulvr.edu.ec](mailto:ggaibore@ulvr.edu.ec)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3574-3248>

<sup>1</sup> Universidad Laica Vicente Rocafuerte. Ecuador.

#### Cita sugerida (APA, séptima edición)

Rojas Franco, R. L., & Gaibor Espín, G. (2021). Técnica didáctica en el proceso experimental de curado con dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en losas de hormigón armado. *Revista Conrado*, 17(82), 357-371.

#### RESUMEN

Las edificaciones de hormigón requieren cumplir procedimientos, para su correcto desempeño, estos van desde la correcta selección del material antes de construir, hasta la supervisión tras su fundición, entre ellas está el curado, esta acción consiste en mantener una temperatura favorable para el fraguado del hormigón ya que, durante el fraguado, se eleva su temperatura. El objetivo principal de este documento es determinar los efectos de la implementación del Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) en el proceso de curado del hormigón, a través de pruebas en muestras que permitan establecer su factibilidad como método de curado. La metodología utilizada es la experimentación a través de la observación de ensayos de laboratorio que en un total de 14 muestras. La prueba del curado con CO<sub>2</sub> aplicada en el Laboratorio "Geocimientos" se consideraron 3 fechas de rotura de 7 días cada una 310 kg/cm, considerando un diámetro (mm) un Área (mm) 758, se estipuló una densidad de (Kg/m<sup>3</sup>) 2292, presenta una carga de rotura (kg) 18040, dio como resultado la resistencia a la compresión de (kg/cm<sup>2</sup>) 229.7 y (MPa) (2.5), % dio como tipo de rotura 5, la primera fase, en la segunda fase con las mismas características, cambiando la densidad a 2230 y la resistencia de 296.5, (MPa) 29.1 dio un 96%.

#### Palabras clave:

Estrategia didáctica, CO<sub>2</sub>, concreto, hormigón.

#### ABSTRACT

Concrete buildings require compliance with procedures, for their correct performance, these range from the correct selection of the material before construction, to the supervision after its casting, among them is the curing, this action consists of maintaining a favorable temperature for the setting of the concrete since, during the setting, its temperature rises. The main objective of this document is to determine the effects of the implementation of Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) in the concrete curing process, through tests on samples that allow to establish its feasibility as a curing method. The methodology used is experimentation through observation of laboratory tests in a total of 14 samples. The CO<sub>2</sub> curing test applied in the "Geocimientos" Laboratory considered 3 failure dates of 7 days each 310kg / cm, considering a diameter (mm) an Area (mm) 758, a density of (Kg / m<sup>3</sup>) 2292, presents a breaking load (kg) 18040, resulted in the compressive strength of (kg / cm<sup>2</sup>) 229.7 and (MPa) (2.5), % gave as type of rupture 5, the first phase, in the second phase with the same characteristics, changing the density to 2230 and the resistance of 296.5, (MPa) 29.1 gave 96%.

#### Keywords:

Didactic strategy, CO<sub>2</sub>, concrete, concrete.

## INTRODUCCIÓN

En el desarrollo constructivo de la sociedad, un elemento fundamental ha sido el hormigón, hoy en día es posible encontrarlo a simple vista a nuestro alrededor, ya sea en paredes, piso o techos, su uso, aunque variado, también posee limitaciones que surgen por un incorrecto proceso, ya sea de elaboración, mezcla, o curado, que pueden restringir su rendimiento, manejo y características en gran medida (Bush, et al., 2017; Faccin et al., 2019; Lau, et al., 2020).

El método más común de curado, es humedecer continuamente la superficie con agua, este proceso se puede llegar a convertir en un problema en su ejecución, ya sea por falta de supervisión, recursos o tiempo, ocasionando un incorrecto curado, otro método es el uso de aditivos, o agregados, pero dependiendo del agregado a usarse el valor proyectado para su construcción se incrementará (Appel, et al., 2017; Calderón & Díaz, 2018; García, et al., 2020).

El objetivo de este proyecto es determinar la factibilidad de este nuevo uso para el Dióxido de Carbono, su importancia no se limita a la zona en la que se desarrolla, es aplicable a otras zonas, ciudades o países, de clima similar, planteando un cambio en el modo de realizar curado, al ser un sistema innovador, puede otorgar un nuevo papel al Dióxido de Carbono dentro de la construcción. Esta investigación se desarrolla en cuatro capítulos, se aborda la problemática, el proceso tradicional al producirse el curado, sus ventajas y desventajas, se trazan los objetivos y se plantea la hipótesis, se hace distinción de los conceptos que se manejan, tanto del Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) como del curado, sus usos y ramas en los que se aplican en la actualidad (Dabaieh, et al., 2018; Cole & Altenburger, 2019; Danting & Youy, 2020).

El Curado es el proceso que realiza el constructor posterior a la fundición de un elemento de hormigón, este busca permitir el desarrollo de las propiedades como resistencia, estabilidad dimensional y durabilidad manteniendo condiciones de humedad y temperatura favorables, las técnicas existentes tienden a mantener la saturación del hormigón, reducir la evaporación o la aceleración del desarrollo de resistencia (Xian, et al., 2021) the processes of CO<sub>2</sub> purification and compression are energy-intensive. This paper is to investigate the feasibility of directly utilizing flue gas at ambient pressure for carbonation curing. To accommodate the low carbon dioxide concentration in flue gas, cement paste was first studied to identify desirable curing conditions and regimes. Five curing regimes including "Closed (C.

El tipo de curado a realizarse depende de varios factores, la disponibilidad, practicidad, necesidad y un previo análisis de costo beneficio, por parte del constructor, teniendo presente las necesidades del proyecto, del tipo prácticas, resistentes y estéticas (Aznar, et al., 2017; Al-Fakher, et al., 2021; Ramesh, 2021).

Para Qin, et al. (2021), entre los sistemas más comunes de curado están:

- **Mantener la humedad en el encofrado colocado:** Consiste en mantener los laterales del encofrado, al ser de madera se deben mantener permanentemente saturados, de ser metálicos no requiere este tipo de cuidados.
- **Cubrir la superficie:** Este método se utiliza en la cara superior de las estructuras de hormigón, como es el caso de losas, pisos y pavimentos, se coloca arpillera húmeda o un film de un material no absorbente que disminuya la pérdida de humedad del hormigón, este método suele afectar la estética al colocarse en estado fresco, es decir inmediatamente después de la fundición
- **Riego Superficial:** En este método se mantiene la saturación del hormigón mediante el riego por aspersion, este se debe dar de forma permanente para evitar su secado superficial, debe ser de forma que parezca una leve neblina.
- **Mediante la reducción de la evaporación:** Uso de compuestos químicos líquidos, que sea capaz de formar una membrana protectora, esta debe ser capaz de retener una humedad no inferior al 80% en la superficie del hormigón tras 7 días de tratamiento.

Resguardo de la superficie, mediante el uso de mantas impermeables o piezas textiles como yute o cáñamo, que reduzcan la evaporación, en el caso de ser piezas textiles se debe cuidar continuamente de la reposición de la humedad.

Sellando la superficie, este se puede utilizar incluso en hormigones ya secos, mediante compuestos selladores se protege al hormigón del ingreso de humedad.

- **Curado Acelerado:** Curado a vapor, se utiliza generalmente en piezas pequeñas de hormigón prefabricado, en cámaras para este uso se da la aplicación controlada de calor y humedad, se utiliza un generador de vapor (1) en combinación con sensores térmicos (2) y válvulas motorizadas de regulación(3), que distribuyen el vapor mediante tuberías (4), extractores (5), ventiladores (6), protegidos por medio de aislamiento (7), estos generadores de vapor existen de varias especificaciones y potencias, pueden utilizar gas natural o propano.

- **Curado por temperatura:** Este es un método que se realiza mediante el calentamiento del hormigón mediante resistencias eléctricas externas o internas para acelerar las reacciones de hidratación.
- **Curado por Carbonatación:** Se utiliza en piezas pequeñas, se realiza en cámaras de curado mezclando Hidróxido de Calcio  $\text{Ca(OH)}_2$  y Dióxido de calcio  $\text{CO}_2$ , para que mediante el carbonato de calcio  $\text{CaCO}_3$  se produzca una leve contracción de la pasta cementicia y una mayor dureza, este método se puede combinar con el curado mediante secado, se baja rápidamente la humedad de las piezas permitiendo su inmediata comercialización y uso, este es efectivo en piezas que no requieren asentamiento ni un alto grado de hidratación en su composición (Becker, 2016).

Por las características, previamente dichas del Dióxido de Carbono, su aplicación es viable en construcciones ubicadas en el clima de la ciudad de Guayaquil, si se tiene presente la primera ley de la termodinámica, la temperatura tiene un flujo cuya velocidad es directamente proporcional a la distancia entre el inicio y el término ( $36^\circ\text{C}$  a  $-79^\circ\text{C}$ ), por lo que corresponde a la necesidad del enfriamiento del concreto en la construcción, la aplicación del  $\text{CO}_2$  es viable en su estado sólido (hielo seco) al sublimarse no genera ningún tipo de líquido, agua o humedad que afecte a la estructura (Kwon & Wang, 2021) a model for evaluating the  $\text{CO}_2$  uptake rate of plain concrete and limestone-powder-blended concrete in both the service and recycling phases was proposed. First, a blended cement hydration model was proposed to evaluate the content of carbonatable substances, porosity and carbon dioxide diffusivity. In the service phase, a one-dimensional carbonation model was proposed to evaluate the carbonation depth. In the recycling stage, an unreacted core model was proposed to evaluate the carbonation process of spherical recycled concrete. Secondly, considering the concrete materials, structural elements and environmental exposure, a  $\text{CO}_2$  uptake model at the service stage and recycling stage was proposed. The total  $\text{CO}_2$  uptake rate is the sum of the  $\text{CO}_2$  uptake rates in the service stage and the recycling stage. The analysis results showed (1.

Es necesario recordar que el kilogramo de hielo seco genera 136 frigorías de energía, al estar a una temperatura de  $-78,5^\circ\text{C}$ , cede 16 frigorías extra lo que permite que se pueda obtener 152 frigorías por cada kilogramo de hielo seco, funciona como un agente bacteriológico y un fungistático, cuando se produce su sublimación se genera una atmosfera cuya concentración de  $\text{CO}_2$  es tan alta que ejerce una acción antimicrobiana, por ello es un excelente gas para ralentizar el desarrollo de las bacterias, mohos y levaduras, creando un ambiente totalmente desinfectado (Kaya & Anil, 2021).

Jabir, et al. (2021), refieren que su aplicación es posible, pero siempre contando con el direccionamiento de un profesional experto, recomienda que antes de aplicar el sistema se debe revisar el tipo de cimentación, de la aplicación del Dióxido de Carbono ya se posee de precedentes, aplicándose en la creación de pequeñas piezas en serie, su uso eficiente comprobado en viguetas y bovedillas.

## METODOLOGÍA

El desarrollo de este proyecto tiene contexto experimental. Mediante esta descripción el escenario a plantear radica en determinar los riesgos y efectos del Dióxido de Carbono en muestras de hormigón diseñadas para la fundición de losas, la información resultante servirá como base estadística para aplicar y controlar la solidificación de las losas con el uso del Dióxido de Carbono (Kwon & Wang, 2021) a model for evaluating the  $\text{CO}_2$  uptake rate of plain concrete and limestone-powder-blended concrete in both the service and recycling phases was proposed. First, a blended cement hydration model was proposed to evaluate the content of carbonatable substances, porosity and carbon dioxide diffusivity. In the service phase, a one-dimensional carbonation model was proposed to evaluate the carbonation depth. In the recycling stage, an unreacted core model was proposed to evaluate the carbonation process of spherical recycled concrete. Secondly, considering the concrete materials, structural elements and environmental exposure, a  $\text{CO}_2$  uptake model at the service stage and recycling stage was proposed. The total  $\text{CO}_2$  uptake rate is the sum of the  $\text{CO}_2$  uptake rates in the service stage and the recycling stage. The analysis results showed (1. Se realizaron ensayos en laboratorio, con distintos rangos de tiempo y porcentajes de proporción en relación superficie/Kg, para realizar pruebas de flexión, corte y comprensión, comparando el curado tradicional y el curado implementando Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ).

Durante todo el proceso del curado de las muestras se observaron las interacciones de los recursos materiales al realizar la fundición, se puede deducir de ello que el Dióxido de Carbono por ser un gas más pesado que el aire, ligeramente toxico, no alimenta la combustión y se sublima con facilidad (Qin, et al., 2021; Ramesh, 2021).

Esta investigación tiene como fundamento la innovación en la construcción, dirigido a la metodología del curado de losas de hormigón, implementando el uso de  $\text{CO}_2$  (Dióxido de Carbono) (Xian, et al., 2021) the processes of  $\text{CO}_2$  purification and compression are energy-intensive. This paper is to investigate the feasibility of directly utilizing flue gas at ambient pressure for carbonation curing. To accommodate the low carbon dioxide concentration in

flue gas, cement paste was first studied to identify desirable curing conditions and regimes. Five curing regimes including “Closed (C, como elemento refrigerante (Wang, et al., 2021) cratering and reinforcement rupturing under contact explosions. High speed fragmentation resulting from concrete spall may cause severe casualties and injuries. It is therefore important to restrained concrete fragments and improve collapse resistance of the slab. The present work is intended to evaluate the effectiveness of coated polyisocyanate-oxazodone (POZD, la información recopilada deja en evidencia, la escasas de innovación en este campo, y la viabilidad del uso del CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono) como refrigerante en otros, con el sondeo realizado por medio de encuestas a profesionales e informales de la construcción, se confirmó el uso de un procedimiento de curado aplicado por habito más que por técnica, sin embargo está presente, la predisposición a la innovación, con el uso de CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono) en alusión a sus características físicas como su uso cual refrigerante, lo cualifica para mantener la saturación de la humedad en el hormigón, en este trabajo de investigación se registrará el efecto del CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono) durante el curado en muestras de hormigón, tanto probetas como losas de hormigón a escala, mediante ensayos a las probetas de hormigón y observación a su acabado (Taehee, et al., 2013).

El método experimental que este proyecto propone, la inclusión del Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) en el curado de losas de hormigón armado, consiste en su aplicación en un segmento de losa, y probetas de hormigón con resistencia de 310 Kg/cm<sup>2</sup> (Tam, et al., 2021), durante su curado, manteniendo así la humedad del hormigón, este proyecto busca la innovación en sistemas de curado con el uso de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), con menor impacto ambiental al disminuir el uso del agua y mayor sanitización al ser un germicida natural.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la fabricación de las probetas, se preparó la mezcla de hormigón necesario para producir 14 probetas de hormigón y para los 3 segmentos de losa, se consideró mezcla suficiente según sus dimensiones de 0.50 x 0.50 mts. y 0.20 mts de altura (Figura 1 y 2).



Figura 1. Materiales para probetas y segmentos de losa.

- Saco de cemento.
- Saco de arena.
- Piedra chispa de ¾.
- 3.5 Gls de agua.
- Aditivo.
- Aceite.
- Varilla de 5.5 mm.
- Bloque de piedra pómez de 39 x 19 x 9 cm.
- Tablas de madera para encofrado.
- Alambre recocido.
- Hielo Seco.



Figura 2. Herramientas para probetas y segmentos de losa.

- Concretera con capacidad de 1 saco de cemento.
- Balde de 0.32 x 0.36 mts.

- Balanza digital
- Carretilla
- Cono de Abrams
- Moldes de hierro fundido para probetas de 10 x 20 cms
- Espátula
- Varilla compactadora lisa de acero
- Martillo con cabeza de caucho de 2 Kgs
- Pala metálica
- Moldes de plástico para curado definitivo
- Barra para el doblado de varillas
- Sierra.
- Vailejo.
- Borrador y regla de aluminio.
- Rollo de film.
- Guantes.

### Preparación de materiales y herramientas

Antes de iniciar la fundición de las muestras, preparamos las herramientas, verificamos su perfecto aseo, como es el caso de la concretera, se realiza un lavado previo con agua para garantizar la pureza y homogeneidad de la mezcla, se preparan los moldes de hierro fundido donde se habrán de preparar las probetas, aceitándolas para evitar la adherencia excesiva que podría dificultar su desmolde (Figura 3).



Figura 3. Preparación de herramientas para obtención de probetas.

En el caso de los segmentos de losa, se procede con el armado de los cajones de madera que hará las veces de encofrado del hormigón, armamos la estructura interna tal cual procederíamos con una losa, y humedecemos antes de verter la mezcla para garantizar su adherencia y homogeneidad (Figura 4).



Figura 4. Preparación de moldes para segmentos de losas.

### Elaboración de mezcla

Para las muestras de hormigón que hemos de tomar, tanto las probetas, como los segmentos de losa, se diseñaron con una resistencia de 310 Kg/cm<sup>2</sup>, al ser una resistencia promedio, para ello utilizaremos la proporción 1-2-3, es decir, 1 saco de cemento, 2 parihuelas de arena, y 3 parihuelas de piedra, para efecto de mayor control en peso y movilidad, se ha utilizado un balde cuyas medidas son 32 cm x 36 cm, procediendo posteriormente al cálculo equivalente (Figura 5).



Figura 5. Materiales para preparación de mezcla.

Las medidas de una parihuela son de 20cm x 40cm x 40cm, y su volumen corresponde a:

$$V=20*40*40=32000 \text{ cm}^3/$$

Las medidas del balde a utilizarse son de 32 cm x 36 cm

$$V= \pi*r^2*h$$

$$V=3.1416*16^2*36$$

$$V=28953 \text{ cm}^3$$

Las 2 porciones de arena corresponden a 64000 cm<sup>3</sup> y 3 porciones de piedra corresponden a 96000 cm<sup>3</sup>, el equivalente resulta en:

Adicional a los 3.5 Galones de agua, se mezclaron con 143 gr. de aditivo para colocar durante la preparación (Figura 6).



Figura 6. Aditivo para mezcla.

Una vez limpia la concretera, se procede a preparar la mezcla, se coloca la piedra, la mitad del agua y el saco de cemento, se deja mezclar durante medio minuto, y poco a poco se agregó la arena con el restante de agua, dejamos mezclar durante tres minutos más, antes del vaciado en carretilla (Figura 7).



Figura 7. Mezcla en concretera.

Obtenida la homogeneidad de la mezcla, se procede a vaciar una parte en la carretilla y a esta mezcla, le realizamos el ensayo de Cono de Abrams, para poder verificar su consistencia, dándonos un asentamiento de 8 cm. con este asentamiento procedemos al llenado de los moldes (Figura 8).



Figura 8. Ensayo de cono de Abrams.

### Relleno de moldes

Para el relleno de los moldes de hierro fundido, se toma la mezcla en dos capas, con la ayuda de una espátula y una pequeña pala, tras la primera capa de mezcla, se la compacta con una varilla lisa de acero, mediante 25 penetraciones, y se golpea en el costado con un martillo con cabeza de caucho de 2 Kg, durante 15 veces, este procedimiento se realiza para eliminar posibles burbujas de aire (Figura 9).



Figura 9. Relleno de probetas de hierro fundido.

Al finalizar el rellenado de la segunda capa, el exceso de hormigón se enraso con la varilla, y se aliso la superficie con la espátula (Figura 10).



Figura 10. Acabado de probetas.

Respecto a los segmentos de losa, empezamos el vaciado en el encofrado anteriormente armado y humedecido, se cubre con la mezcla de forma equilibrada en cada espacio, poco a poco se llena y se va varillando para evitar las burbujas de aire, una vez concluido el llenado, se paleta la superficie, para darle un acabado liso (Figura 11).



Figura 11. Fundición y acabado de segmentos de losa.

### Curado Inicial

Una vez llenados los moldes de las probetas, la superficie superior es alisada para colocar los datos de su fundición, una vez listos, se los protege con una lámina de plástico para evitar pérdida de humedad durante las primeras 24 horas posterior a la toma de los cilindros (Figura 12).



Figura 12. Curado inicial de probetas.

### Desmoldado de muestras

Pasadas más de doce horas, se procede a desmoldar, en el protector plástico podemos observar condensación del agua, los moldes se abren con la ayuda de una llave de tuerca y se retiran con cuidado los cilindros de hormigón (Figura 13).



Figura 13. Desmolde de probetas

Pasadas más de doce horas, se procede a desmoldar, en el protector plástico podemos observar condensación, antes de comenzar el proceso de curado, realizamos la toma del peso de los cilindros, los clasificamos según el tipo de curado que se les hará, para comprobar los

efectos y diferenciarlos del curado con CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono), curado en obra, ausencia de curado, y en piscina de curado, tal cual se realiza en un laboratorio.

Tabla 1. Peso y tipo de tratamiento a darse en probetas de hormigón (Tabla 1).

# DE CILINDRO	Peso (Kg)	Tipo de Curado
1	3.804	Agua + Hielo Seco
2	3.755	Agua + Hielo Seco
3	3.755	Agua + Hielo Seco
4	3.777	Agua + Hielo Seco
5	3.787	Curado en obra
6	3.667	Curado en obra
7	3.660	Curado en obra
8	3.782	Curado en obra
9	3.802	Supresión de curado
10	3.755	Supresión de curado
11	3.806	Supresión de curado
12	3.674	Supresión de curado
13	3.759	Piscina de curado
14	3.722	Piscina de curado

Tras realizar la toma del peso de los cilindros, se implementó sus distintos tratamientos, se humedeció los cilindros del 1 al 8, del 1 al 4 con hielo seco, y del 5 al 8 semejante al curado que recibe una losa en obra, humedeciéndolos cada 4 horas en este caso para generar una situación de mayor control, con el equivalente a la mitad de su peso (Figura 14).



Figura 14. Probetas de hormigón desmoldadas

A nuestros segmentos de losa, no se los desmolde, ya que el procedimiento estándar es el desmolde pasados los 28 días, su tratamiento de curado será, el primero con hielo seco y agua, el segundo, con agua, tal como se procedería en obra y el tercero, será libre de cualquier tratamiento de curado (Figura 15).



Figura 15. Segmentos de losa antes del curado

### Curado con CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono)

Tras medirlos, se efectuó sus distintos tratamientos, se humedeció los cilindros del 1 al 8, el curado de las probetas del 1 al 4 seguirán con hielo seco, del 5 al 8 semejante al curado que recibe una losa en obra, humedeciéndolos cada 4 horas en este caso para generar una situación de mayor control, con el equivalente a la mitad de su peso, las probetas del 9 al 12 se dejaron al ambiente, y las probetas 13 y 14 quedaron totalmente sumergidas (Figura 16).



Figura 16. Probetas de hormigón previo a curado.

Pasada una hora de humedecer los cilindros, se retiró el agua, al sumar el hielo seco a las probetas del 1 al 4, de forma empírica se usó la proporción de 1/4 del peso total de las probetas (Tabla 2) (Figura 17).

Tabla 2. Cálculo de CO<sub>2</sub> a utilizarse

# De cilindro	Peso (kg)
1	3.804
2	3.755
3	3.755
4	3.777
Peso total	15.091
Peso de CO <sub>2</sub> a usarse	$0.943 * 4 = 3.772 \text{ kg}$



Figura 17. Toma de peso del hielo seco a usarse

Agregado el hielo seco se aisló las probetas con film, esto porque su sublimación es superior expuesto totalmente al aire libre (Figura 18).



Figura 18. Probetas de hormigón al primer día tras fundición - día.

A las 8 horas de su colocación, se puede detectar en los cilindros con hielo seco, que tienen una temperatura de 20°, los cilindros que fueron humedecidos manejaban una temperatura de 24° un grado superior al ambiente y los de ningún tratamiento tenían una temperatura igual (Figura 19).



Figura 19. Probetas de hormigón al primer día tras fundición - noche.

Al segundo día de fundidos, amaneció la ciudad de Guayaquil con una ligera garúa, que bajo la temperatura hasta los 21°, humedeciendo ligeramente todas las probetas de hormigón (Figura 20).



Figura 20. Probetas de hormigón al segundo día tras fundición.

A las 8 a.m. tal cual se procedería en obra, se humedeció las muestras del 1 al 8, durante 1 hora, luego se aplicó el hielo seco a los cilindros del 1 al 4, en la misma cantidad utilizada previamente y se recubrieron con papel film, pasadas 4 horas se humedecieron los cilindros del 5 al 8, durante 1 hora, los demás cilindros no sufren alteración alguna, continuamos con este procedimiento hasta completar los siete días de curado (Figura 21, 22, 23, 24 y 25).



Figura 21. Probetas de hormigón al tercer día tras fundición.



Figura 22. Probetas de hormigón al cuarto día tras fundición.



Figura 23. Probetas de hormigón al quinto día tras fundición.



Figura 24. Probetas de hormigón al sexto día tras fundición.



Figura 25. Probetas de hormigón al séptimo día tras fundición.

Al séptimo día, procedemos a revisar el estado físico de las probetas, escogemos una muestra representante de cada grupo, de las probetas del 1 al 4, se toma como muestra la probeta de la figura 3, de los cilindros del 5 al 8, se toma el cilindro #5, de los cilindros del 9 al 12, se tomó el cilindro de la figura 12, del grupo de los cilindros 13 y 14, tomamos el cilindro de la figura 13 (Figura 26, 27, 28 y 29).



Figura 26. Probeta de hormigón 3.



Figura 27. Probeta de hormigón 5.



Figura 28. Probeta de hormigón 12.



Figura 29. Probeta de hormigón 13.

Tras el curado de las probetas podemos indicar mediante la observación, dos características sobresalientes que las diferencian unas de otras, su color y textura al tacto, de la probeta #3, cuyo tratamiento de curado consistió en agua y hielo seco, podemos observar un color gris neutro, al tacto, su textura se siente lisa, agradable al tacto, de la probeta #5, con tratamiento de curado, similar al que se da en obra, se distingue una coloración un poco más oscura al anterior, con una textura un poco más polvosa, pero lisa, de la probeta #12, perteneciente al grupo que se le suprimió cualquier tipo de curado, resalta a la vista un color gris un poco más blanquecino, una textura mucho más áspera y polvosa, incluso se observaba desprendimiento en su parte superior e inferior, la probeta #13, perteneciente al grupo que permaneció sumergida en agua, era la mejor conservada de todas, presentaba un color mucho más oscuro, con una superficie lisa, agradable al tacto, temperatura mucho más fresca y una menor cantidad de desprendimientos de su cara superior.

Para continuar el tratamiento de curado con los segmentos de losa, primero, las diferenciamos según el tipo de curado que se les habrá de dar, la losa #1 recibirá curado de agua con hielo seco, la losa de la figura 2 curado con

agua, semejante al que se da en obra, la losa #3 estará exento de cualquier tipo de curado (Figura 30).

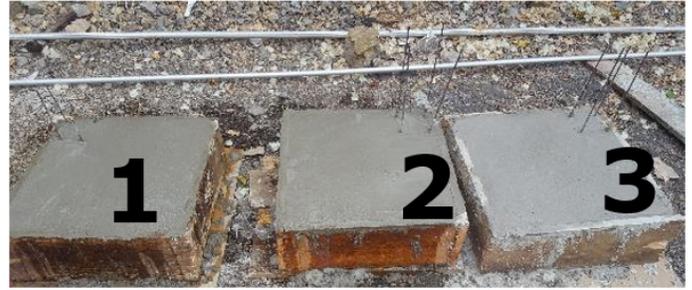


Figura 30. Diferenciación de segmentos de losa.

Procurando mantener la similitud de condiciones, se ha buscado la similitud en la cantidad de Hielo seco al que se expondrá la losa #2, en el caso de las probetas utilizamos  $\frac{1}{4}$  del peso de las mismas, de este primer experimento, podemos utilizar la cantidad de Hielo seco y correlacionarlo con la superficie cubierta, cada probeta media 10 x 20 cm, al momento de calcular su área, obtenemos:

$$A=2\pi rh+2\pi r^2$$

$$A=2(3.14)(5)(20)+2(3.14)(5)^2$$

$$A=628+157=785 \text{ cm}^2$$

Para continuar el tratamiento de curado con los segmentos de losa, se ha utilizado esta proporción, considerando el área de la superficie del segmento de losa.

$$A=L \times L$$

$$A=50 \times 50=2500 \text{ cm}^2$$

Al considerar ambas proporciones, y manejarlas con una regla de tres, nos da la cantidad de Hielo seco que aplicaremos a los segmentos de losa.

$$\begin{array}{r} 785 \text{ cm}^2 = 3.772 \text{ Kg} \\ 2500 \text{ cm}^2 = ? \\ \hline 2500 \text{ cm}^2 \times 3.772 \text{ Kg} = \\ \frac{785 \text{ cm}^2}{9430 \text{ Kg/cm}^2} = \\ \frac{785 \text{ cm}^2}{785 \text{ cm}^2} = \\ 12.01 \text{ Kg} \end{array}$$

Al considerar ambas proporciones, y manejarlas con una regla de tres, nos da la cantidad de 12 Kg para aplicar en la superficie de nuestro segmento de losa, procedemos a humedecer el 1 y 2, mientras el 3 lo mantenemos intacto (Figura 31).



Figura 31. Segmentos de losa humedecidos.

Después de humedecer los segmentos de losas 1 y 2, se procede con la aplicación de los 12 Kg de hielo seco en el segmento #1, después de aplicarlo, se procede a aislarlo mediante un plástico, repetimos este proceso durante los siguientes 6 días tras su fundición (Figura 32, 33, 34, 35, 36, 37 y 38).



Figura 32. Segmentos de hormigón al primer día tras fundición.



Figura 33. Segmentos de hormigón al segundo día tras fundición.



Figura 34. Segmentos de hormigón al tercer día tras fundición.



Figura 35. Segmentos de hormigón al cuarto día de fundición.



Figura 36. Segmento de hormigón al quinto día tras fundición.



Figura 37. Segmento de hormigón al sexto día tras fundición.



Figura 38. Segmentos de losa de hormigón al séptimo día tras fundición.

Completados los siete días de curado, tal cual se procedió con las probetas, se verifica, el estado físico mediante, tacto y observación de los segmentos de hormigón, del primer segmento se observa un color mucho más oscuro, porosidad agradable al tacto, aunque se observa que la oxidación de las varillas es aún mayor que en los otros segmentos, del segundo segmento se observa un color más claro, un ligero desgaste en la parte superior una porosidad media y poca oxidación en las varillas metálicas, del tercer segmento, se percibe a la vista, una superficie porosa, al tocarlo se percibe polvosa, con un desgaste del hormigón mayor, sus varillas metálicas han permanecido igual.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tras los 7 días de fundidos se procedió con la prueba de rotura de cilindro para verificar el nivel de resistencia a la compresión alcanzado, los cilindros escogidos para la prueba fueron los de la figura 1, 5, 9 y 13, ya en el laboratorio el primer paso es tomar el peso de las probetas (Tabla 3) (Figura 39).

Tabla 3. Peso de probetas antes de realizar pruebas en laboratorio al séptimo día.

# De cilindro	Peso (kg)	Tipo de curado
1	3776	Agua + hielo seco
5	3721	Agua en obra
9	3661	Sin curado
13	3781	Sumergido en agua



Figura 39. Probetas de hormigón en laboratorio para prueba tras siete días.

Se procedió a calibrar la máquina de roturas de cilindros, se ingresan los datos del tamaño de cilindro y su área, se despeja de restos de pruebas anteriores y se coloca el cilindro listo para la prueba (Figura 40).



Figura 40. Máquina para pruebas de compresión.

Seguidamente se realizó la rotura de los 4 cilindros, y la toma de datos (Figura 41, 42, 43, y 44).



Figura 41. Rotura de Probeta #1.



Figura 42. Rotura de probeta #5.



Figura 43. Rotura de probeta #9.



Figura 44. Rotura de probeta #13.

Pasados los 14 días se procede con una nueva prueba de rotura, esta vez las probetas a evaluar son las #2, #6, #10, antes de su evaluación se registra su peso (Tabla 4) (Figura 45, 46, 47).

Tabla 4 Resultados de laboratorio cilindro 2-6-10.

# De cilindro	Peso (kg)	Tipo de curado
2	3673	Agua + hielo seco
6	3563	Agua en obra
10	3597	Sin curado



Figura 45. Rotura de probeta #2.



Figura 49. Rotura de probeta #7.



Figura 46. Rotura de probeta #6.



Figura 50. Rotura de probeta #11.



Figura 47. Rotura de probeta #10.



Figura 51. Rotura de probeta #14.

Cumplidos los 28 días se procede con la rotura de las probetas, #3, #7, #11 y #14, antes de ello se procede con el registro de sus datos (Tabla 5) (Figura 48, 49, 50, 51).

Tabla 5. Resultados de laboratorio cilindro 3-7-11-14.

# De cilindro	Peso (kg)	Tipo de curado
3	3603	Agua + hielo seco
7	3514	Agua en obra
11	3633	Sin curado
14	3757	Sumergido en agua



Figura 48. Rotura de probeta #3.

De la prueba de rotura a las probetas de hormigón, pasados los 7 días logramos distinguir, los siguientes resultados, durante las pruebas de compresión, la probeta de hormigón con mayor alcance a la resistencia de 310 Kg/cm<sup>2</sup>, es la que se humedeció tal cual se hubiera realizado en obra, demostrando una resistencia del 98% seguida por la probeta de hormigón en la piscina de curado, alcanzando el 91%, continuando con la probeta de hormigón tratada con Dióxido de Carbono, y por último lugar la probeta de hormigón que no recibió curado, que llegó al 81%.

En las pruebas de los 14 días, la probeta de hormigón predominante en resistencia de 310 Kg/cm<sup>2</sup>, fue la que se humedeció tal cual se hubiera realizado en obra, demostrando una resistencia del 103% seguida por la probeta de hormigón tratada con Dióxido de Carbono con el 96%, y con último lugar la probeta de hormigón que no recibió curado, alcanzando un 92%.

Realizadas las pruebas de los 28 días, la probeta con mayor alcance fue la del curado en piscina, llegando al 112%, seguida con la probeta de curado como si fuera en obra, alcanzando el 109%, la resistencia de la probeta sometida al Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) se mantuvo en crecimiento hasta llegar al 101%, mientras la probeta sin curado, decreció en su alcance al diseño de resistencia, llegando solo al 90%.

## CONCLUSIONES

Al realizar la ejecución del proyecto, proceso de curado con Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), en losas de hormigón armado, se concluye, que, si es factible incluirlo como agente en la ayuda al curado del hormigón, esto gracias a las pruebas de compresión realizadas en laboratorio a las probetas de hormigón, acorde al objetivo principal del presente estudio, cumpliéndose en la experimentación documentada, la descripción del proceso y el registro fotográfico de las pruebas.

Se logra proyectar exitosamente la aplicación de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) desde las probetas, a estructuras de tamaño real, esto se realizó al momento de ejecutar las losetas de hormigón armado y exponerlas durante su curado al Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), con una proporción semejante a la realizada en las probetas de hormigón.

Las características mecánicas, que se determinaron se dieron mediante las pruebas de compresión en laboratorio, demostrándonos, su porcentaje de alcance conforme a la resistencia con la que se diseñaron, en cada probeta de hormigón, las características físicas, se describieron al final del curado de las probetas de hormigón y encontramos su semejanza al final del curado de las losetas de hormigón.

En relevancia a los pros y contra de la implementación del Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) en el curado, se cuenta como contra el cuidado que se debe tener en su manejo, la necesidad de personal calificado y la poca rentabilidad del método, al ser un elemento de costo superior al agua, como pro se destaca un tiempo menor de ejecución y un mayor tiempo de conservación de la humedad en climas con altas temperaturas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Lau, J. L., Rahim, N. A. A., Abdullah, S. I. S. S. & Me, . R. C. (2020) Factors Affecting Informal Learning Activities of the Millennial Generation. *Elementary Education Online*, 19(3), 127-139.

Al-Fakher, U., Manalo, A., Ferdous, W., Aravinthan, T., Zhuge, Y., Bai, Y., & Edoó, A. (2021). Bending behaviour of precast concrete slab with externally flanged hollow FRP tubes. *Engineering Structures*, 241, 112433.

Appel, R., De Vries, B., & Weggeman, M. (2017). Comportamiento de intercambio de conocimientos: El papel del diseño espacial en los edificios. *Environment and Behavior*, 49(8), 874-903.

Aznar, A., Hernando, J. I., Ortiz, J., & Cervera, J. (2017). Propuesta de unión viga-pilar mediante pernos conectores: Análisis por método de elementos finitos y ensayos experimentales. *Hormigón y Acero*, 68(282), 163-169.

Bush, S. B., Albanese, J., Karp, K. S., & Karp, M. (2017). An Architecture Design Project: "Building" Understanding. *Mathematics Teaching in the Middle School*, 23(3), 162-169.

Calderón, E., & Díaz, E. (2018). Dificultades en el planteamiento del refuerzo de pilares de hormigón armado. *Hormigón y Acero*, 69(284), 49-58.

Cole, L. B., & Altenburger, E. (2019). Framing the Teaching Green Building: Environmental education through multiple channels in the school environment. *Environmental Education Research*, 25(11), 1654-1673.

Dabaieh, M., El Mahdy, D., & Maguid, D. (2018). Living labs as a pedagogical teaching tool for green building design and construction in hot arid regions. *Arch-net-IJAR: International Journal of Architectural Research*, 12(1), 338-355.

Danting, W., & Youy, J. (2020). *Modelado virtual 3D para arquitectura histórica y realización de software interactivo virtual*. [https://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTOTAL-JSJV2017S2045.htm](https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-JSJV2017S2045.htm)

Faccin, F., Prado, A., Tomba Martinez, A. G., & Ramajo, L. (2019). Evaluación de la resistencia al choque término de hormigones refractarios silicoaluminosos. Efecto del tratamiento térmico. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 58(6), 246-254.

García Coral, J. S., Paternina Martínez, J. M., León Ávila, J., Monroy Perdomo, J., Mendoza Garzón, J. G., & Hincapie Cubillos, A. M. (2020). Comparación de implementación CAD vs BIM para proyectos de construcción, arquitectura e ingeniería. *IDEA Construcción Y Madera*, 2(2), 14-25.

- Jabir, H. A., Mhalhal, J. M., & Al-Gasham, T. S. (2021). Conventional and bubbled slab strips under limited repeated loads: A comparative experimental study. *Case Studies in Construction Materials*, *14*.
- Kaya, N., & Anil, Ö. (2021). Prediction of load capacity of one way reinforced concrete slabs with openings using nonlinear finite element analysis. *Journal of Building Engineering*, *44*, 102945.
- Kwon, S. J., & Wang, X. Y. (2021). CO<sub>2</sub> uptake model of limestone-powder-blended concrete due to carbonation. *Journal of Building Engineering*, *38*.
- Qin, Y., Pang, X., Tan, K., & Bao, T. (2021). Evaluation of pervious concrete performance with pulverized bio-char as cement replacement. *Cement and Concrete Composites*, *119*.
- Ramesh, G. (2021). Repair, rehabilitation and retrofitting of reinforced concrete structures by using non-destructive testing methods. *Indian Journal of Structure Engineering*, *1*(1).
- Taehee, K., Hee-Kwon, L., Gi-Deok, K., Seung-Woo, L., Gi-Tak, C., & Byoung-Woo, Y. (2013). Analysis on the Chemical and Mechanical Stability of the Grouting Cement for CO<sub>2</sub> Injection Well. *Energy Procedia*, *37*, 5702-5709.
- Tam, V. W. Y., Butera, A., Le, K. N., & Li, W. (2021). CO<sub>2</sub> concrete and its practical value utilising living lab methodologies. *Cleaner Engineering and Technology*, *3*.
- Wang, W., Yang, J., Wang, J., Wang, X., & Huo, Q. (2021). Experimental investigation of polyisocyanate-oxazodone coated square reinforced concrete slab under contact explosions. *International Journal of Impact Engineering*, *149*.
- Xian, X., Zhang, D., & Shao, Y. (2021). Flue gas carbonation curing of cement paste and concrete at ambient pressure. *Journal of Cleaner Production*, *313*.