



Uso del dióxido de carbono para el curado de concreto como alternativa del curado tradicional para una resistencia $f'_c=210$ kg/cm² – Huancavelica

Use of carbon dioxide for curing concrete as an alternative to traditional curing for a resistance $f'_c=210$ kg/cm² - Huancavelica

Espinoza D. Fernando¹ • Huayra M. Clinthon¹

Recibido: 29 de noviembre del 2023 / **Aceptado:** 17 de mayo del 2024.

RESUMEN

El propósito de este trabajo es determinar la influencia del método de curado con dióxido de carbono (CO₂) en estado gaseoso, en la resistencia a la compresión del concreto para un diseño $f'_c = 210$ Kg/cm². La investigación es de naturaleza aplicada de nivel explicativo y diseño experimental, además se utilizó los estándares de las siguientes Normas (NTP y ASTM), con una muestra de 32 probetas (16 muestras curadas con el método tradicional H₂O y 16 muestras experimentales curadas con CO₂, en estado gaseoso). Además, para la comprobación de las hipótesis se utilizaron el DCA y la prueba T student, además se aplicó el test de normalidad de Shapiro Wilk. Para el concreto curado con el método tradicional, la resistencia promedio fue de 93 kg/cm² a los 7 días, 141.27 kg/cm² a los 14 días, 170.05 kg/cm² a los 21 días, y 211.07 kg/cm² a los 28 días. Con el curado con CO₂, la resistencia fue de 146.4 kg/cm² a los 7 días, 195.39 kg/cm² a los 14 días, 216.04 kg/cm² a los 21 días, y 221.07 kg/cm² a los 28 días. Por tanto, se concluye que el método de curado con CO₂ si influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto $f'_c=210$ kg/cm², ya que se obtuvo la resistencia requerida en menor tiempo, respecto al concreto patrón con curado tradicional que obtuvo su resistencia requerida a los 28 días.

Palabras claves: Curado, Dióxido de carbono, Concreto, Resistencia a compresión.

ABSTRACT

The purpose of this work is to determine the influence of the carbon dioxide (CO₂) gaseous curing method on the compressive strength of concrete for a design $f'_c = 210$ Kg/cm². The research is of an applied nature of explanatory level and experimental design, in addition, the standards of the following Norms (NTP and ASTM) were used, with a sample of 32 specimens (16 samples cured with the traditional H₂O method and 16 experimental samples cured with CO₂, in gaseous state). In addition, the DCA and the T student test were used to test the hypotheses, and the Shapiro Wilk normality test was applied. For concrete cured with the traditional method, the average strength was 93 kg/cm² at 7 days, 141.27 kg/cm² at 14 days, 170.05 kg/cm² at 21 days, and 211.07 kg/cm² at 28 days. With CO₂ curing, the resistance was 146.4 kg/cm² at 7 days, 195.39 kg/cm² at 14 days, 216.04 kg/cm² at 21 days, and 221.07 kg/cm² at 28 days. Therefore, it is concluded that the CO₂ curing method does have a significant influence on the compressive strength of the concrete $f'_c=210$ kg/cm², since the required strength was obtained in less time, with respect to the standard concrete with traditional curing, which obtained its required strength at 28 days.

Keywords: Curing, Carbon dioxide, Concrete, Compressive strength.

1. INTRODUCCIÓN

El concreto, es un material de construcción a base de una combinación de cementos, agregados (arena y grava), agua y aditivos. Esta mezcla se utiliza ampliamente en el ámbito de la construcción debido a su resistencia, durabilidad, trabajabilidad en estado fresco y versatilidad (Mehta y Monteiro, 2014).

La relevancia del concreto en el ámbito de la construcción radica en sus propiedades y características, que lo convierten en un material versátil y confiable. Es un material firme al fuego y además es muy económico, por lo que lo transforma en el material más usado y valorado en el área de la construcción. Se adapta muy bien a los diferentes tipos de climas y es resistente al congelamiento y al agua, lo que lo hace ideal para su uso en pavimentos, presas, canales, etc. (De la Fuente y Castro, 2019).

✉ Fernando Javier Espinoza Daniel
fernando.espinoza.daniel@gmail.com

¹ Bachiller en Ingeniería Civil en la Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú.

El diseño de mezcla del concreto es el proceso para determinar las proporciones adecuadas de los materiales constituyentes, como cemento, agua, agregados y aditivos, para lograr las propiedades deseadas del concreto en términos de resistencia, durabilidad, trabajabilidad y otros requisitos específicos de la aplicación. Es un paso crucial en la producción de concreto de alta calidad y garantiza que el material cumpla con los estándares y especificaciones establecidos. (Huanca, 2006)

Existen diversas causas físicas y químicas por las cuales el concreto puede no alcanzar su máxima resistencia. Algunas de estas causas incluyen problemas en el proceso de curado, deficiencias en el diseño de mezcla, calidad de los materiales aplicados y condiciones ambientales desfavorables.

El curado del concreto es un proceso crucial para asegurar el desarrollo adecuado de su caracterización físicas y químicas, al igual que para lograr la máxima resistencia y durabilidad del material. El curado consiste en mantener el concreto húmedo y protegido durante un periodo de tiempo determinado después de su colocación y endurecimiento inicial. Este proceso permite una hidratación adecuada del cemento y la formación de una estructura interna densa y resistente.

La importancia del cuidado del agua en el Perú radica en la insuficiencia de los recursos hídricos y la falta de preservar este recurso vital para garantizar el desarrollo sostenible y la protección de la población. El Perú es un país que enfrenta desafíos relacionados con la disposición y la calidad del agua debido a factores como las alteraciones climáticas, como también la contaminación y la gestión inadecuada de los recursos hídricos.

Existen varios métodos de curado del concreto alternativos al curado convencional con agua. Estos métodos buscan proporcionar condiciones suficientes de humedad y temperatura para favorecer la hidratación del cemento y el desarrollo de las propiedades deseadas del concreto. Algunos de los métodos alternativos incluyen el curado químico, el curado con membranas, el curado con compuestos poliméricos y el curado térmico.

En noviembre del 2022 la carga con lo que accede el agua a los domicilios de la ciudad de Huancavelica bajo e inclusive, el servicio de agua potable se terminó cortando en las edificaciones de más de tres plantas y en las viviendas que están en las zonas altas y medias de la ciudad. De acuerdo al dato que gestiona la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (EMAPA) Huancavelica, lo antes señalado se debió a la falta de lluvia que se presentó en ese mes, lo que afectó a los manantiales del recurso hídrico que suministra a las plantas que proporcionan el servicio de agua de consuno a la ciudad, esta situación continuo durante al menos 15 días más, y se estima que esta situación se agrave poco a poco con el pasar de los años a consecuencia de la alteración climática y al agente contaminante ambiental, por lo que es importante el uso adecuado y responsable de este recurso hídrico de vital importancia para la población y por ende es imperativo para el ámbito de la construcción reducir al máximo el uso del agua y encontrar otros métodos en la preparación y mantenimiento del concreto.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

El ámbito de estudio abarcó la ciudad de Huancavelica y se realizó en Laboratorio de Tecnología del Concreto de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Huancavelica (UNH). El análisis y obtención de datos para la investigación, se realizó el año 2023 con el objetivo de medir las distintas resistencias a compresión con los dos métodos, curado tradicional (curado con agua) y dióxido de carbono (CO₂) en estado gaseoso.

La investigación es de naturaleza aplicada, nivel explicativo y de diseño experimental, además se utilizó los estándares de las siguientes Normas (NTP y ASTM). Para la investigación se empleó la población de 32 probetas de concreto cilíndricos de diámetro de 10 centímetros y una altura de 20 centímetros, y se desarrolló un comparativo entre las resistencias del curado tradicional con agua en laboratorio de tecnología del concreto y curado con dióxido de carbono (CO₂) en estado gaseoso, para descubrir cuanto influye en la resistencia del concreto $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$.

Para comparar los datos se utilizó ANOVA (Análisis de Varianza) de un factor, DCA (Diseño Completamente Aleatorio), la prueba Shapiro-Wilk para determinar la normalidad de los grupos involucrados en el proceso y la prueba estadística de T student. Intervalo de confianza para la media con un nivel de significancia del 5 %.

3. RESULTADOS

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO

Los ensayos granulométricos se realizaron en el

Laboratorio con una muestra de 3625 gramos de árido grueso cumpliendo con las especificaciones técnicas en cuanto a la proporción de muestra para dicho ensayo, en donde el tamaño máximo nominal (TMN) del árido grueso es 3/4". La curva granulométrica del árido grueso como se observa en la figura 1 cumple con los indicativos en la NTP 400.037 respecto al límite granulométrico mínimo y límite granulométrico máximo del árido grueso, porque el porcentaje que pasa del árido grueso está entre los límites granulométricos.

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

Los ensayos granulométricos se realizaron en el laboratorio con una muestra de 3925 gramos de árido fino cumpliendo con las especificaciones técnicas en cuanto a la proporción de muestra para dicho ensayo, en donde el Tamaño Máximo Nominal (TMN) del árido grueso es 3/4". La curva granulométrica del árido fino como se aprecia en la figura 2 cumple con (NTP 400.037, 2018) respecto al límite granulométrico mínimo y límite granulométrico máximo del árido fino, porque la proporción que pasa del árido fino está entre los límites granulométricos.

PROPIEDADES DEL AGREGADO GRUESO

El peso unitario suelto (PUS), el peso unitario compacto (PUC), el peso específico sumergido y absorción y determinación del contenido de humedad del agregado grueso se efectuaron en el Laboratorio de tecnología del concreto de la

Figura 1. Curva granulométrica del agregado grueso.

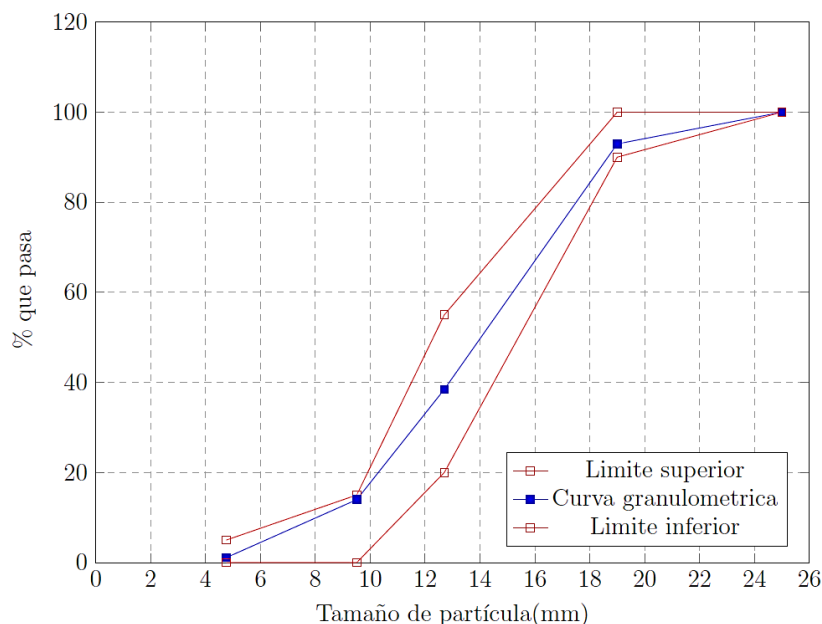
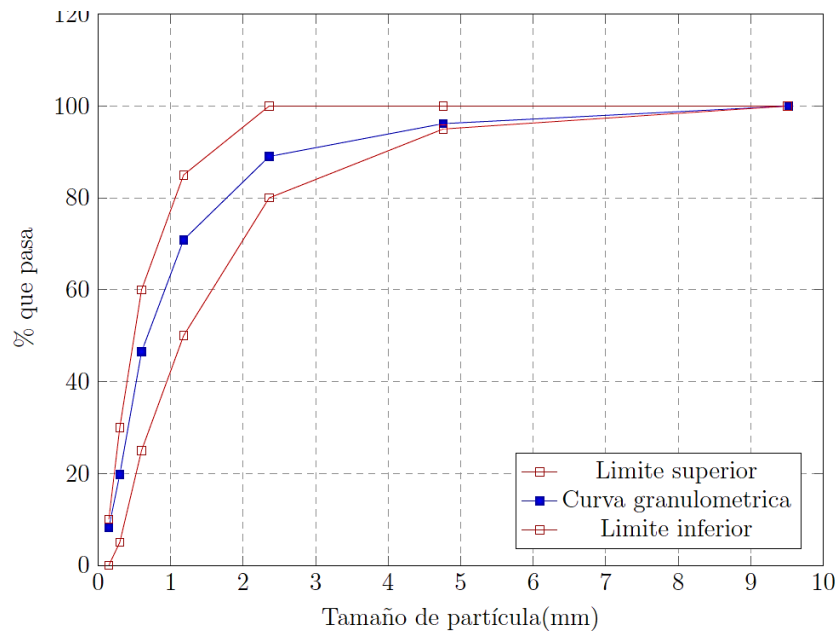


Figura 2. Curva granulométrica del agregado fino.



Escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Huancavelica según los lineamientos NTP de la Norma Técnica Peruana. 400.017. En resumen, se obtuvieron los resultados del cuadro 1.

PROPIEDADES DEL AGREGADO FINO

El peso unitario suelto (PUS), el peso unitario compacto (PUC), el peso específico sumergido y absorción y determinación del contenido de humedad del agregado fino se efectuaron en el Laboratorio de tecnología del concreto de la Escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Huancavelica según los lineamientos NTP de la Norma Técnica Peruana. 400.017. En resumen, se obtuvieron los resultados del cuadro 1.

Tabla 1

Propiedades físicas de los agregados.

	Características	Und	Agregado fino	Agregado grueso
1	Peso unitario suelto	Kg/m ³	1592.926	1352.218
2	Peso unitario compactado	Kg/m ³	1774.281	1425.659
3	Peso específico de masa	Kg/m ³	2.181	2.413
4	Absorción	%	6.564	2.489
5	Contenido de humedad	%	5.721	2.144
6	Módulo de fineza	-	2.69	6.92
7	TMN	Pulg	-	3/4

DISEÑO DE MEZCLA

Una vez caracterizados los áridos gruesos y finos, se lleva a cabo el diseño de mezcla para especificar la cantidad de material que se utilizará para u

concreto de resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ por el método del ACI. Se siguió el siguiente proceso:

- Datos generales para el diseño de mezcla: $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Cemento portland tipo 1, $Y_{cem} = 3110 \text{ kg/m}^3$, $Y_{agua} = 1000 \text{ kg/m}^3$.
- Obtenemos el tamaño máximo nominal del agregado grueso, que para esta investigación fue de $\frac{3}{4}$ ".
- Dado que los datos de prueba estadísticos no están disponibles, el valor de resistencia promedio requerido se determina utilizando el cuadro 2.
- Para esta prueba, se seleccionó un asentamiento de 1 pulgada a 4 pulgadas de acuerdo con la norma.

- El contenido de aire capturado del árido grueso de un TMN de $\frac{3}{4}$ de pulgada es del 2 %.

Tabla 2

Resistencia promedio requerida. (ACI 211).

Resistencia a compresión especificada $f'c$ (kg/cm ²)	Resistencia promedio requerida $f'cr$ (kg/cm ²)
$f'c < 210$	$f'cr = f'c + 70$
$210 \leq f'c \leq 350$	$f'cr = f'c + 85$
$f'c \geq 350$	$f'cr = 1.1 * f'c + 50$

- Para un (TMN) de 3/4 pulgadas del árido grueso y un asentamiento de 1 a 4 pulgadas la cantidad aproximada de agua o líquido será de 205 lt/m³.
- Interpolamos la relación de $f'cr$ sin aire para determinar la relación agua/cemento ($a/c = 0.558$).
- Calculamos el contenido de cemento dividiendo el volumen de agua con la relación agua/cemento, obteniendo 8.64 bol/m³.
- Se calculo la cantidad de agregado grueso y fino según las tablas y formulas proporcionadas por el ACI, obteniendo 899.591 kg/m³ y 619.004 kg/m³ respectivamente.
- Realizamos la corrección por humedad de agregados y aporte de agua obteniendo los siguientes resultados de diseño de mezcla.

DOSIFICACION EN PESO (kg)

Cemento	A Fino	A Grueso	Agua
1	1.78	2.50	24.63

DOSIFICACION EN VOLUMEN (m3)

Cemento	A Fino	A Grueso	Agua
1	1.58	2.71	24.63

ENSAYO DE ASENTAMIENTO Y ELABORACION DE PROBETAS

Para el proceso del mezclado se hace uso de una mezcladora electrónica de concreto en buenas condiciones de utilidad, con la cual cuenta el Laboratorio de Tecnología del Concreto de la Universidad Nacional de Huancavelica. Una vez que se ingresaron la totalidad de los materiales se dejó mezclar durante un tiempo de 5 minutos.

Se realizo la prueba del cono de Abrams, para comprobar la consistencia, proporcionándonos un asentamiento de 3 pulgadas, como se muestra en la imagen N° 1, con este slump se procede al cargado de los moldes cilíndricos.

Para este estudio de exploración se utilizaron moldes cilíndricos de 10cm X 20cm, y el llenado

de los moldes cilíndricos, la mezcla se compacta en tres capas, usando un badilejo y una pala pequeña, después de la primera capa de mezcla, se hace la compactación con una varilla lisa, a través de varias penetraciones, luego se golpeó en los costados con un martillo de goma, este paso se hizo para eliminar las burbujas de aire en el concreto.

Figura 3. Ensayo de asentamiento.**CURADO DE PROBETAS POR EL METODO TRADICIONAL**

La (ASTM C-192), recomienda la preparación y tratado de muestras de concreto en el laboratorio, requiere que las muestras se sumerjan en agua o también en un ambiente con una humedad relativa del 95% y una temperatura más baja de $23 \pm 2^\circ\text{C}$. Las muestras se sumergieron en un tanque de curado a una temperatura entre 20°C y 28°C y se curaron en el tanque de curado durante 7, 14, 21 y 28 días, una vez finalizado los días de curado se retira las muestras para realizar las pruebas de ensayo.

Figura 4. Curado de probetas con agua en tanque temperado.**CURADO DE PROBETAS CON DIOXIDO DE CARBONO**

Para poder realizar el curado con dióxido de carbono de las probetas, se procedió a elaborar una cámara de dimensiones 60 cm x 60 cm x 50 cm. Por otro lado, la cámara tiene que conservar una temperatura de $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, por lo que se instaló

un termostato y focos calentadores. Para poder controlar la cantidad de gas utilizado se utilizó un manómetro.

Una vez colocadas las probetas dentro de la cámara de curado se procedió a sellarlas para evitar fugas de CO₂, todo esto con la finalidad de curar las probetas de concreto por un periodo de 7, 14, 21 y 28 días.

Figura 5. Curado de concreto con dióxido de carbono.



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

Las pruebas de resistencia a compresión del concreto se realizaron según los criterios de las normas técnicas (NTP 339.034 y ASTM C399).

En el grafico N° 1, se muestra el resultado del ensayo de resistencia a la compresión de las probetas curadas por el método tradicional a diferentes edades. Además, podemos apreciar que el concreto alcanza su resistencia de diseño a los 28 días.

En el grafico N° 2, se muestra el resultado del ensayo de resistencia a la compresión de las

probetas curadas con dióxido de carbono a diferentes edades. Además, podemos apreciar que el concreto al usar este método alcanza su resistencia de diseño en un promedio de 18 días como podemos observar en el grafico N° 4.

4. DISCUSIÓN

A la edad de 7, 14, 21 y 28 días se obtuvo una resistencia a compresión mayor por el método de curado con dióxido de carbono respecto al método de curado tradicional con agua, como se observa en el grafico N° 3; lo cual, llega a coincidir con la investigación de Raissa Leticia Rojas Franco (2021), “Proceso de curado con dióxido de carbono (co₂) en losas de hormigón armado”, ya que en sus conclusiones señala que es factible incluir al dióxido de carbono como agente en la ayuda al curado del concreto.

En contraste con la investigación “Caracterización física de un hormigón geopolimérico curado por co₂.” Sarah María López Velásquez (2019), La resistencia a la compresión de todas las probetas, a una edad de 40 días, tiende a estabilizarse independientemente del método de curado implementado, entre ellos el método de curado con dióxido de carbono.

El método de curado con dióxido de carbono se puede usar para madurar en menor tiempo el concreto para la obtención de la resistencia requerida de un concreto; en comparación con el método de curado tradicional que alcanza su resistencia optima a los 28 días de curado. Por otra parte, se puede considerar un método ecológico ya que reduce el desperdicio y contaminación del agua; además, que le da un uso al dióxido de carbono.

Figura 6: Variación de la resistencia a la compresión del concreto respecto a los días de curado con el método tradicional (Agua).

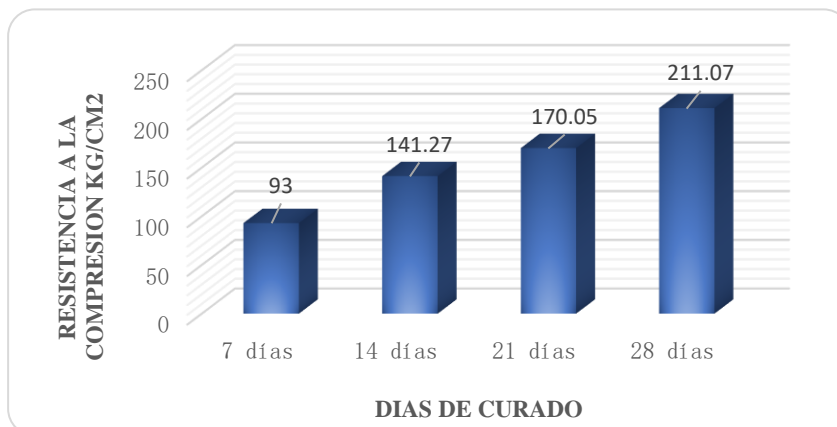


Figura 7. Variación de la resistencia a la compresión del concreto respecto a los días de curado con dióxido de carbono (Co2).

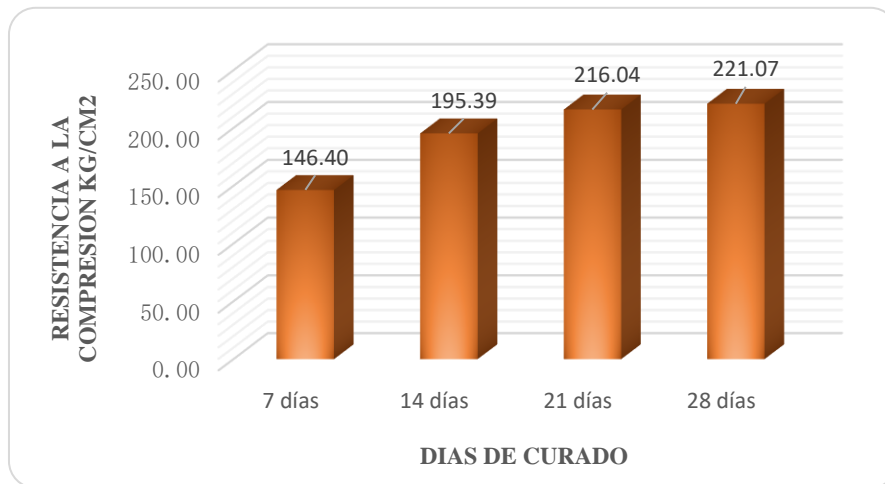


Figura N° 8. Resistencia a la compresión para ambos métodos de curado.

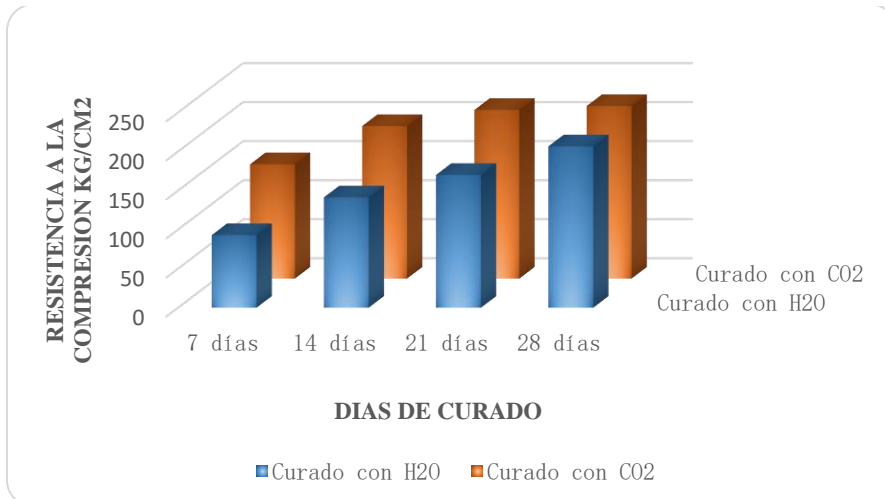
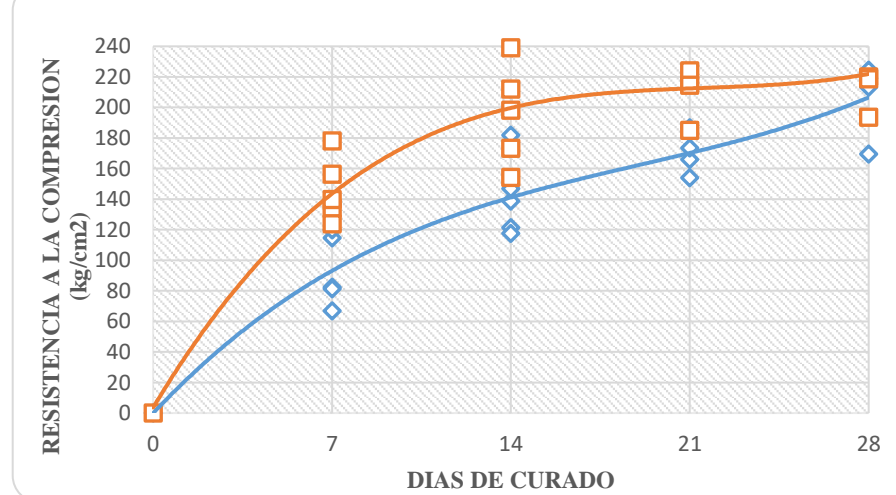


Figura N° 9. Comparación de la maduración del concreto con ambos métodos de curado.



La visión de la presente investigación es que el uso del Dióxido de carbono se pueda dar a gran escala principalmente en la elaboración de concretos prefabricado, y que la fuente de CO₂ se obtenga de los residuos de emisión de gases producto de la elaboración del cemento a través del proceso de captura y secuestro del carbono.

5. AGRADECIMIENTOS

Al programa presupuestal 066-2023-II, por el financiamiento para la realización del presente trabajo de investigación organizado por el vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional de Huancavelica.

6. REFERENCIA

ASTM C-192. "Preparación y curado de mezclas de concreto en laboratorio."

Huanca, S. L. (2006). Diseño de mezclas de concreto. Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Civil, Perú.

López, S. M. (2019). *Caracterización física de un hormigón geopolimérico curado por co₂*.

Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2014). *Concreto. Microestructura, propiedades de materiales*, 2.

NTP 339.034. (2015). "HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas."

NTP 400.017. (2011). "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen densidad ("Peso Unitario") los vacíos en los agregados."

NTP 400.037. (2018). "Agregados para concreto. Requisitos."

Rojas, R. L. (2021). Componente químico del agua en la resistencia del concreto arma Técnica didáctica en el proceso experimental de curado con dióxido de carbono (co₂) en losas de hormigón armado [Tesis de título, Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil]. Repositorio institucional.

Torres, A. (2004). Curso básico de tecnología del concreto para ingenieros civiles. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.