

Concrete Compressive Strength when using different types of curing in Cajamarca

Diego Javier Salazar Sanchez, Bach.¹; Diego Manuel Tavera Flores, Bach.²; Miguel Angel Mosqueira Moreno, Dr.³

¹ Universidad Privada del Norte (UPN). Cajamarca, Perú. N00244167@upn.pe

² Universidad Privada del Norte (UPN). Cajamarca, Perú. N00262672@upn.pe

³ Universidad Privada del Norte (UPN). Cajamarca, Perú. miguel.mosqueira@upn.pe

Abstract– In the construction industry, concrete is the most widely used material because of its versatility, strength, and durability, playing a crucial role in infrastructure and building projects. Its quality depends on multiple factors, including the curing method, which ensures proper hydration of the cement and optimizes its structural performance. Curing is essential to ensure the formation of a homogeneous internal microstructure, which improves compressive strength and minimizes internal defects. The research aimed to compare the compressive strength of concrete subjected to four curing methods: immersion, irrigation, waterproofing admixture (Sika Antisol S) and plastic coating, under the climatic conditions of Cajamarca. This analysis provides valuable data that improve curing techniques, optimizing concrete strength in similar contexts. An experimental design with a quantitative approach was used, employing 36 cylindrical concrete specimens, evaluated at intervals of 7, 14 and 28 days. The results at 28 days indicated that immersion curing presented the highest strength with 27.27 MPa, followed by admixture curing with 27.12 MPa, irrigation curing with 25.20 MPa and plastic coating with 22.58 MPa. It is concluded that immersion curing was the most effective method, achieving the highest compressive strength among those evaluated. However, due to its impracticality in real structures, it is suggested to opt for the other techniques analyzed in this study.

Keywords– Concrete, compressive strength, curing, admixture, plastic coating.

Resistencia a la Compresión del Concreto al utilizar diferentes tipos de Curado en Cajamarca

Diego Javier Salazar Sanchez, Bach.¹; Diego Manuel Tavera Flores, Bach.²; Miguel Angel Mosqueira Moreno, Dr.³

¹ Universidad Privada del Norte (UPN). Cajamarca, Perú. N00244167@upn.pe

² Universidad Privada del Norte (UPN). Cajamarca, Perú. N00262672@upn.pe

³ Universidad Privada del Norte (UPN). Cajamarca, Perú. miguel.mosqueira@upn.pe

Resumen– En el ámbito de la construcción, el concreto es el material más utilizado debido a su versatilidad, resistencia y durabilidad, desempeñando un rol crucial en proyectos de infraestructura y edificación. Su calidad depende de múltiples factores, entre ellos, el método de curado, que asegura una hidratación adecuada del cemento y optimiza su desempeño estructural. El curado es esencial para garantizar la formación de una microestructura interna homogénea, lo que mejora la resistencia a la compresión y minimiza defectos internos. La investigación tuvo como objetivo comparar la resistencia a la compresión del concreto sometido a cuatro métodos de curado: inmersión, riego, aditivo impermeabilizante (Sika Antisol S) y recubrimiento plástico, bajo las condiciones climáticas de Cajamarca. Este análisis aporta datos valiosos que mejoran las técnicas de curado, optimizando la resistencia del concreto en contextos similares. Se utilizó un diseño experimental con enfoque cuantitativo, empleando 36 probetas cilíndricas de concreto, evaluadas en intervalos de 7, 14 y 28 días. Los resultados a los 28 días indicaron que el curado por inmersión presentó la mayor resistencia con 27,27 MPa, seguido por el curado con aditivo con 27,12 MPa, el curado por riego con 25,20 MPa y el recubrimiento plástico con 22,58 MPa. Se concluye que el curado por inmersión fue el método más efectivo, al alcanzar la mayor resistencia a la compresión entre los evaluados. Sin embargo, debido a su impracticabilidad en estructuras reales, se sugiere optar por las otras técnicas analizadas en este estudio.

Palabras clave: Concreto, resistencia a la compresión, curado, aditivo, recubrimiento plástico.

I. INTRODUCCIÓN

El concreto es un material esencial en la construcción moderna debido a su versatilidad, durabilidad y capacidad para soportar cargas significativas. Este material, compuesto principalmente de cemento, agua, agregados y, en algunos casos, aditivos, se utiliza en una amplia gama de estructuras, desde edificios residenciales hasta infraestructuras civiles como puentes y carreteras [1].

La resistencia a la compresión es una propiedad fundamental del concreto, ya que determina su capacidad para soportar cargas sin experimentar fallas estructurales. Este parámetro, evaluado generalmente a los 28 días mediante ensayos de compresión en probetas, es crucial para garantizar la seguridad y estabilidad de las edificaciones. Además, su control permite optimizar diseños estructurales, reduciendo costos sin comprometer la integridad del material. En aplicaciones prácticas, como la construcción de cimentaciones, columnas y losas, la resistencia a la compresión asegura que el concreto pueda resistir las

tensiones estáticas y dinámicas a las que estará sometido durante su vida útil [2].

El curado del concreto es un proceso esencial para garantizar el desarrollo de sus propiedades mecánicas, asegurando una adecuada hidratación del cemento mediante el control de la humedad y la temperatura durante las primeras etapas de fraguado. Este procedimiento previene problemas como fisuración, retracción plástica y pérdida de resistencia, y es especialmente crítico en ambientes con condiciones climáticas adversas. Mantener niveles óptimos de humedad y una temperatura uniforme permite maximizar la resistencia del concreto, factores clave para su desempeño estructural y estabilidad a largo plazo [3].

A pesar de los avances en las técnicas de curado, muchas construcciones en obra presentan condiciones que distan de los estándares ideales de laboratorio, generando la necesidad de investigar y comparar los métodos empleados en diferentes contextos climáticos y constructivos [4].

En este contexto, investigaciones previas han evaluado el impacto de varios métodos de curado en la resistencia del concreto, como el uso de inmersión en agua, la hidratación mediante riego periódico, compuestos formadores de membranas y recubrimientos plásticos. Por ejemplo, un estudio comparativo determinó que el curado por inmersión proporcionó las mayores resistencias a los 28 días [4], mientras que los métodos como el recubrimiento plástico y de riego presentaron resultados inferiores debido a una menor retención de humedad [4,5]. De igual forma, se ha demostrado que los curadores químicos, como el Sika Antisol S, aunque efectivos, no superan la eficacia del curado tradicional por inmersión [6].

Investigaciones recientes han destacado el uso del recubrimiento plástico como una alternativa práctica para controlar la pérdida de humedad y temperatura en elementos verticales, lo que mejora la hidratación y reduce defectos internos. Este método ha mostrado mejoras en la resistencia a la compresión del concreto debido a su capacidad para actuar como barrera impermeable. Por lo que constituye una alternativa práctica y viable para el curado del concreto en estructuras reales, donde métodos tradicionales como la inmersión son impracticables. [7].

Por otro lado, en un contexto climático de temperaturas moderadas y lluvias estacionales propias de la región de Cajamarca, que oscilan entre 4,9 °C en julio y 22,2 °C en septiembre [8]. Estas condiciones no fueron consideradas

como variables de análisis, sino como el contexto ambiental en el cual se ejecutaron los ensayos de curado de concreto. Aunque las temperaturas moderadas y los periodos de lluvias pueden influir en los procesos constructivos en general, el presente trabajo no evaluó directamente el efecto de dichas variaciones climáticas sobre la resistencia del concreto, por lo que los resultados obtenidos son principalmente aplicables a lugares que presenten condiciones similares.

Asimismo, la exposición a ciclos de congelamiento y deshielo en regiones andinas representa un desafío significativo para la integridad estructural del concreto. Estos ciclos pueden generar tensiones internas debido a la expansión del agua en los poros al congelarse, lo que resulta en microfisuras y una disminución de la resistencia a largo plazo. Implementar métodos de curado adecuados, como el uso de recubrimientos impermeables o técnicas que favorezcan una hidratación uniforme, es esencial para mitigar estos efectos y garantizar la resistencia a la compresión del concreto en estas condiciones [9,10].

La autoconstrucción es una práctica predominante en Perú, donde aproximadamente el 80 % de las viviendas son edificadas sin asesoría profesional, llegando hasta un 90 % en zonas periféricas [11]. En Cajamarca, este fenómeno se ve intensificado por factores socioeconómicos: en 2023, el 54,7 % de la población rural y el 30,0 % de la población urbana vivían en situación de pobreza [12]. Esta situación genera riesgos estructurales debido al uso inadecuado de materiales y a la falta de criterios técnicos en el diseño, lo que resulta en asentamientos vulnerables expuestos a fisuración y pérdida de resistencia estructural.

Ante esta realidad, promover métodos de curado simples y efectivos como el recubrimiento plástico puede ser determinante para mejorar la calidad del concreto en obras en general. Este método facilita la conservación de la humedad superficial desde las primeras etapas de fraguado, reduce la evaporación prematura y mejora la cohesión interna del material, fortaleciendo la resistencia del concreto sin necesidad de recursos sofisticados, lo cual resulta crucial en contextos informales y climáticamente similares a Cajamarca.

Desde una perspectiva teórica, el curado del concreto se basa en la teoría de la hidratación del cemento, un proceso que promueve la formación de una microestructura densa y homogénea. Este estudio aporta al avance del conocimiento en tecnología del concreto al analizar cómo los métodos de curado influyen en la microestructura interna del material y su capacidad para resistir cargas. En términos prácticos, los resultados proporcionan herramientas para que ingenieros y constructores adopten métodos de curado que mejoren la calidad del concreto y prolonguen la vida útil de las estructuras, reduciendo la necesidad de intervenciones futuras.

El presente estudio tiene como objetivo comparar la resistencia a la compresión del concreto sometido a cuatro métodos de curado: inmersión, riego, aditivo impermeabilizante (Sika Antisol S) y recubrimiento plástico, considerando las condiciones climáticas particulares de Cajamarca. Este trabajo busca identificar el método de curado que garantice una mayor resistencia del concreto, teniendo en

cuenta su aplicabilidad en construcciones reales, en comparación con lo estipulado en la norma ASTM C31 (inmersión) [13], con el fin de proponer alternativas técnicas que garanticen una resistencia adecuada para su aplicación en obras de construcción.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue aplicada mediante un enfoque cuantitativo y un diseño experimental longitudinal, lo que permitió analizar y comparar la resistencia a la compresión del concreto bajo cuatro métodos de curado (inmersión, riego, aditivo impermeabilizante y recubrimiento plástico) en tres intervalos específicos: 7, 14 y 28 días. Este diseño evaluó los efectos del curado en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte (UPN) en Cajamarca, bajo condiciones ambientales no controladas, garantizando que todas las probetas compartieran el mismo entorno de temperatura y humedad ambiente obteniendo datos representativos y útiles para aplicaciones prácticas.

El diseño experimental fue seleccionado debido a su capacidad para controlar y manipular variables de forma precisa, facilitando el establecimiento de relaciones entre los métodos de curado (variables independientes) y la resistencia a la compresión del concreto (variable dependiente). Este enfoque asegura que los resultados reflejen únicamente el impacto de las variables analizadas, eliminando la influencia de factores externos. Además, las técnicas de control implementadas en este tipo de diseño permiten validar hipótesis mediante procedimientos estadísticos, lo que refuerza la confiabilidad de los resultados obtenidos [14].

Por su parte, el enfoque longitudinal permitió analizar la evolución de la resistencia del concreto en intervalos definidos de tiempo. Este diseño es ideal para estudios que requieren evaluar tendencias y cambios en las propiedades de un material a lo largo de períodos específicos, como los ensayos realizados a los 7, 14 y 28 días. Su aplicación en este estudio permitió identificar patrones y variaciones en el desempeño de los diferentes métodos de curado, proporcionando una visión integral de su eficacia [14].

A. Muestra:

La muestra estuvo conformada por 36 probetas cilíndricas de concreto, distribuidas equitativamente entre los cuatro métodos de curado evaluados y los tres intervalos de ensayo seleccionados. El muestreo probabilístico, específicamente aleatorio, permitió asegurar representatividad y minimizar sesgos en los resultados, garantizando condiciones uniformes y controladas para cada tratamiento. Este enfoque asegura la validez y confiabilidad de los datos, facilitando comparaciones precisas entre los métodos de curado aplicados [14]. La **tabla I** presenta la asignación de especímenes según el método de curado y la edad del ensayo.

TABLA I

Cantidad de especímenes según tiempo y método de curado

Tiempo de ensayo (días)	Concreto sometido a diferentes tipos de curado			Subtotal
	Por inmersión	Con aditivo	Por riego	Con recubrimiento plástico
7	3	3	3	3
14	3	3	3	3
28	3	3	3	3
Total				36

B. Materiales y preparación de las probetas:

Se utilizaron los siguientes materiales, seleccionados para garantizar la calidad y reproducibilidad del estudio:

- Cemento Pacasmayo Tipo I: Seleccionado por su consistencia en propiedades mecánicas y su disponibilidad en la región.
- Agregados: Arena fina y piedra triturada provenientes de la cantera Bazán, procesadas según la NTP 400,012 para asegurar granulometría adecuada.
- Aditivo impermeabilizante (Sika Antisol S): Usado como membrana de curado para reducir la evaporación del agua superficial.
- Plástico film: Material flexible empleado para mantener la humedad interna del concreto mediante una barrera física.
- Agua tratada: Obtenida localmente y utilizada para garantizar la hidratación uniforme del cemento.

Se elaboraron probetas cilíndricas estándar de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, siguiendo las especificaciones de la NTP 339,183. El diseño de mezcla se realizó mediante el método ACI para una resistencia característica de 20,59 MPa (210 kg/cm²), valor apropiado para construcciones de vivienda. Las mezclas de concreto se prepararon con una relación óptima agua/cemento, vertidas en moldes cilíndricos y compactadas para evitar vacíos. Tras el fraguado inicial, las probetas se distribuyeron aleatoriamente entre los cuatro tratamientos de curado.

C. Métodos de curado aplicados:

- Inmersión: Las probetas fueron sumergidas en agua limpia a temperatura ambiente, garantizando hidratación constante [3].
- Riego: Aplicación de agua superficial mediante aspersión tres veces al día por 5 minutos, simulando prácticas comunes en obras [3].
- Aditivo impermeabilizante: Se aplicó una capa uniforme de Sika Antisol S, formando una membrana que

disminuyó la evaporación [3].

- Recubrimiento plástico: Se cubrieron las probetas con plástico flexible, reduciendo la pérdida de humedad mediante una barrera física [3].

D. Ensayos normativos realizados:

Los ensayos se realizaron siguiendo normativas técnicas específicas para evaluar las propiedades de los materiales y las probetas:

- Propiedades de los agregados:
 - Análisis granulométrico (NTP 400,012).
 - Peso unitario suelto o compactado (NTP 400,017).
 - Peso específico y absorción (NTP 400,021).
 - Contenido de humedad (NTP 339,185).
- Probetas de concreto:
 - Elaboración y curado (NTP 339,183).
 - Resistencia a compresión en cilindros (NTP 339,034).

E. Ensayos de Compresión y Análisis Estadístico de Resultados

Las probetas cilíndricas de concreto fueron sometidas a ensayos de compresión a los 7, 14 y 28 días, conforme a la norma NTP 339,034. El objetivo principal fue evaluar y comparar el desarrollo de la resistencia a la compresión bajo los cuatro métodos de curado seleccionados.

A continuación, se detalla el procedimiento y análisis empleado:

- Ejecución de Ensayos de Compresión:

Cada probeta fue cuidadosamente inspeccionada antes del ensayo para garantizar su integridad física, asegurando que no presentara fisuras ni irregularidades que pudieran comprometer la precisión de los resultados. Durante el ensayo, las probetas se colocaron en el centro de las placas de una máquina hidráulica calibrada, diseñada específicamente para medir la resistencia a la compresión. Este posicionamiento permitió una distribución uniforme de la carga axial aplicada, evitando desalineaciones que pudieran generar resultados inconsistentes. La carga fue incrementada de manera continua y controlada hasta que la probeta alcanzó su punto de ruptura, momento en el cual se registró el valor máximo de resistencia soportado. Este dato, expresado en MPa, proporcionó una medida directa y confiable del desempeño mecánico del concreto sometido a las diferentes condiciones de curado evaluadas.

- Registro y Organización de los Datos:

Los resultados fueron registrados de forma sistemática en hojas de cálculo, organizando la información según el método de curado aplicado en los intervalos de tiempo evaluados. Esta clasificación permitió disponer de un conjunto de datos claramente estructurado, facilitando tanto su análisis estadístico posterior como la identificación de patrones y

diferencias en el desempeño de las probetas bajo cada tratamiento.

- Análisis Estadístico y Procesamiento de Datos:
Se utilizó el software Minitab 22,2,1, diseñado para procesar datos cuantitativos y facilitar el análisis estadístico avanzado.

Las herramientas principales empleadas incluyeron:

- Análisis de varianza (ANOVA): Este método evaluó la existencia de diferencias significativas en la resistencia a la compresión entre los métodos de curado estudiados.
- Se tuvo en cuenta la tabla del ACI 214-77, para lograr los estándares adecuados al realizar los ensayos en laboratorio [15]:

TABLA II

Estándares para el control de concreto para $f'c \leq 35$ MPa

Clase de operación	Desviación estándar para los diferentes estándares de control (MPa)				
	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Regular	Malo
Tandas de ensayo de laboratorio	< 1,4	1,4 – 1,7	1,7 – 2,1	2,1 – 2,4	> 2,4

Fuente: Adaptado de ACI 214-77 (2017)

- Pruebas de rango de Tukey: Permitieron identificar y comparar diferencias específicas entre las medias de cada grupo, determinando cuáles métodos de curado eran estadísticamente superiores o inferiores.

Los resultados estadísticos fueron representados mediante gráficos que facilitaron su interpretación y comparación:

- Gráficas de intervalos: Representaron los intervalos de confianza del 95% para las medias de cada grupo, facilitando la comparación visual de tendencias y variaciones entre los métodos de curado.
- Gráficas de valores individuales: Permitieron observar la variación detallada de los datos y visualizar cada medición dentro de su grupo correspondiente.
- Gráficas de cajas: Analizaron la distribución de los datos, resaltando la mediana, los percentiles y la presencia de valores atípicos o extremos.

- Interpretación de Resultados

Los gráficos generados proporcionaron información clave sobre la distribución y variabilidad de los datos, así como la significancia de las diferencias observadas.

El análisis permitió identificar patrones claros en el desempeño de los métodos de curado y resaltar la superioridad o desventajas específicas de cada técnica.

- Relevancia del Análisis Estadístico

El enfoque combinado de ensayos mecánicos y análisis estadístico robusto aportó solidez y confiabilidad a las conclusiones del estudio. Este proceso permitió no solo evaluar la eficacia de los métodos de curado bajo condiciones específicas de Cajamarca, sino también ofrecer una base para su aplicación en contextos similares, optimizando recursos y garantizando estructuras más duraderas.

Al unificar los ensayos experimentales con herramientas estadísticas avanzadas, el estudio destacó la importancia de seleccionar métodos de curado adecuados, maximizando la resistencia a la compresión del concreto y respondiendo a los desafíos climáticos y constructivos locales.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Resistencia a Compresión del Concreto vs Tipos de Curado:

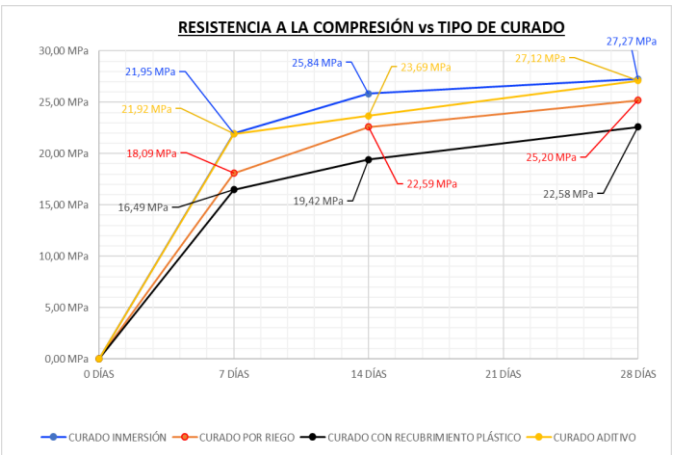


Figura 1. Evolución del promedio de la resistencia a la compresión del concreto a los 7, 14 y 28 días según el tipo de curado.

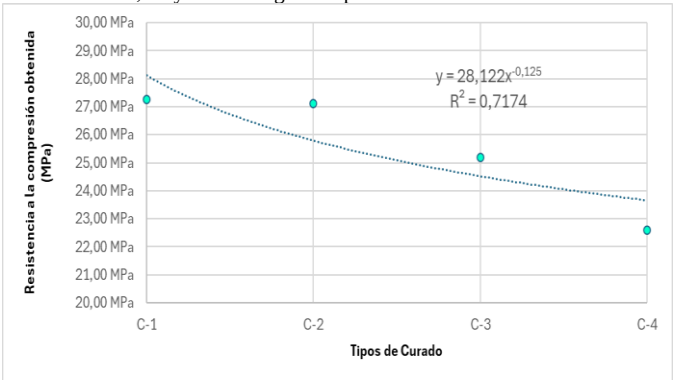


Figura 2. Promedio de la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días varía significativamente según el tipo de curado empleado.

De acuerdo con la **figura 1**, se tiene:

Se muestra la evolución de la resistencia del concreto a lo largo del tiempo, donde se refleja que el curado por inmersión (C-1) mantuvo un desempeño superior en todos los intervalos evaluados (7, 14 y 28 días). El curado con aditivo impermeabilizante (C-2) presentó resultados similares, aunque con un leve descenso en comparación con el curado por inmersión. En contraste, los métodos de riego (C-3) y

recubrimiento plástico (C-4) mostraron una menor capacidad de incremento en la resistencia con el tiempo, con C-4 destacándose como el menos eficiente, particularmente en las etapas iniciales.

De acuerdo con la **figura 2**, se tiene:

Se evidencia que el curado por inmersión (C-1) alcanzó la mayor resistencia a compresión a los 28 días, con 27,27 MPa, seguido del curado con aditivo impermeabilizante (C-2) con 27,12 MPa. Por otro lado, el curado por riego (C-3) registró un valor intermedio de 25,20 MPa, mientras que el curado con recubrimiento plástico (C-4) mostró la menor resistencia con 22,58 MPa. Estos resultados destacan que los métodos que aseguran una hidratación continua y uniforme, como el curado por inmersión, optimizan significativamente la resistencia del concreto.

TABLA III

Variación de la resistencia a compresión según tipos de curado a 28 días

Tipos de Curado	1	2	3	4
	Por inmersión	Con aditivo	Por riego	Con recubrimiento plástico
Media (MPa)	27,27	27,12	25,20	22,58
Porcentaje con respecto al curado por Inmersión (%)		99,43 %	92,39 %	82,80 %
Variación respecto al curado por Inmersión (%)		-0,57 %	-7,61 %	-17,20 %

Fuente: Obtenido con el procesamiento de datos del software Minitab 22,2,1 (2025)

La **Tabla III** resalta la superioridad del curado por inmersión con una media de resistencia a los 28 días de 27,27 MPa, seguido de cerca por el curado con aditivo con un 99,43 % de eficiencia relativa respecto al curado por inmersión. El curado por riego y recubrimiento plástico mostraron una eficiencia significativamente inferior, con una reducción del 7,61 % y 17,20 % respectivamente. Reforzando la importancia de emplear métodos que proporcionen una hidratación constante para maximizar las propiedades mecánicas del concreto.

TABLA IV

Análisis de la varianza correspondiente a la resistencia a compresión del concreto endurecido a los 28 días

Fuente de variabilidad	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tipos de curado	3	43,05	14,3501	17,27	0,001
Error	8	6,648	0,831		
Total	11	49,698			

Fuente: Obtenido con el procesamiento de datos del software Minitab 22,2,1 (2025)

Nota:

Si (0,01<P<0,05) hay significación estadística en el ANOVA
Si (P<0,01) hay una alta significación estadística en el ANOVA
Si (P>0,05) no hay diferencia estadística en el ANOVA
GL(grados de libertad)
MC (Media de los cuadrados)
SC (suma de cuadrado)
Valor F (F calculado)
Valor P (valor de probabilidad)

En la **Tabla IV**, el valor de p obtenido (0,001) indica una alta significancia estadística en el análisis ANOVA. Esto implica que existen diferencias significativas en la resistencia a la compresión a los 28 días entre los métodos de curado evaluados. Esta variación confirma la influencia directa del tipo de curado en la resistencia final del concreto, destacando la eficacia del curado por inmersión sobre los demás métodos.

TABLA V

Medias de la Resistencia a compresión a los 28 días

Tipos de curado	No.	Media (MPa)	Desv.Est.	IC de 95%
C. Aditivo - 28D	3	27,117	1,200	(25,903; 28,330)
C. Inmersión - 28D	3	27,273	0,786	(26,060; 28,487)
C. Plástico - 28D	3	22,583	0,653	(21,370; 23,797)
C. Riego - 28D	3	25,197	0,916	(23,983; 26,410)

Desviación estándar agrupada = 0,911583

Fuente: Obtenido con el procesamiento de datos del software Minitab 22,2,1 (2025)

Los valores agrupados en la **Tabla V** muestran que el curado por inmersión y aditivo impermeabilizante tienen una media de resistencia comparable, mientras que los métodos de riego y recubrimiento plástico presentan una agrupación distinta debido a su menor eficiencia. Al contrastar estos valores con los criterios de la **Tabla II**, se verifica que todas las desviaciones estándar están por debajo del límite de 1,4 MPa, lo que demuestra la consistencia y fiabilidad de los resultados obtenidos [15].

TABLA VI

Información agrupada de la Resistencia a compresión a los 28 días, con el método Tukey y una confianza del 95%.

Tipo de curado	No.	Media (MPa)	Agrupación
C. inmersión - 28D	3	27,273	A
C. Aditivo - 28D	3	27,117	A
C. Riego - 28D	3	25,197	A
C. Plástico - 28D	3	22,583	B

Fuente: Obtenido con el procesamiento de datos del software Minitab 22,2,1 (2025)

La **Tabla VI**, presenta la agrupación en las letras A y B que indican diferencias significativas en los métodos de curado basadas en el análisis de Tukey al 95 % de confianza. Donde la relación de agrupación es:

Grupo A:

- Está conformado por los métodos de curado por

inmersión (27,273 MPa), con aditivo impermeabilizante (27,117 MPa) y por riego (25,197 MPa). La similitud estadística entre estos tres métodos indica que no existen diferencias significativas en su efecto sobre la resistencia final del concreto, lo que sugiere que el curado con aditivo impermeabilizante y el curado por riego pueden ser alternativas viables al curado por inmersión en ciertos contextos.

Grupo B:

- Se compone únicamente del curado con recubrimiento plástico (22,583 MPa), el cual se encuentra estadísticamente separado de los otros métodos, evidenciando una diferencia significativa. Este resultado confirma que el recubrimiento plástico es el método menos eficiente, lo que puede atribuirse a su limitada capacidad para mantener una hidratación adecuada del concreto durante el proceso de curado. La menor resistencia registrada en este grupo sugiere que la ausencia de un suministro constante de humedad afecta negativamente la formación de la microestructura del concreto.

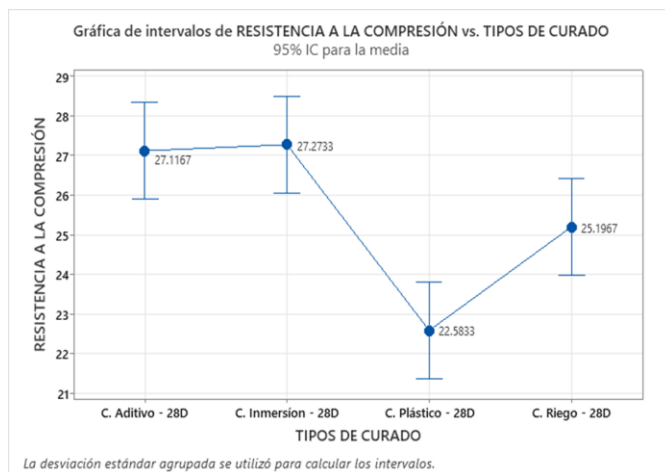


Figura 3. Gráfica de intervalos de resistencia a la compresión a los 28 días según el tipo de curado.

Nota: Obtenido con el procesamiento de datos del software Minitab 22,2,1 (2025)

La **Figura 3** muestra los intervalos de confianza al 95 % para cada método de curado. Se observa que el curado por inmersión y aditivo impermeabilizante comparten rangos de resistencia similares, mientras que el recubrimiento plástico presenta el intervalo más bajo, evidenciando una menor capacidad para alcanzar resistencias óptimas.

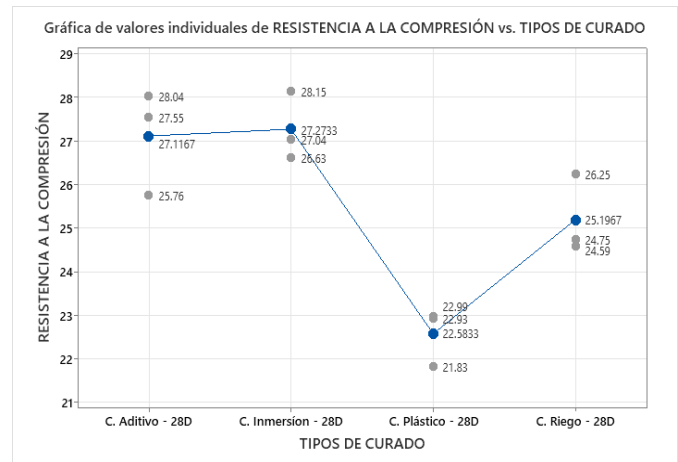


Figura 4. Gráfica de valores individuales de resistencia a la compresión a los 28 días según el tipo de curado.

Nota: Obtenido con el procesamiento de datos del software Minitab 22,2,1 (2025)

La **Figura 4** resalta la dispersión de los valores individuales, mostrando el promedio de las 3 probetas aplicadas por el método de curado respectivo evaluadas a los 28 días, donde el curado por inmersión tiene la menor variabilidad, evidenciando una mayor consistencia en los resultados. El método de recubrimiento plástico, en contraste, muestra una mayor dispersión, lo que refleja una menor confiabilidad en los valores de resistencia alcanzados.

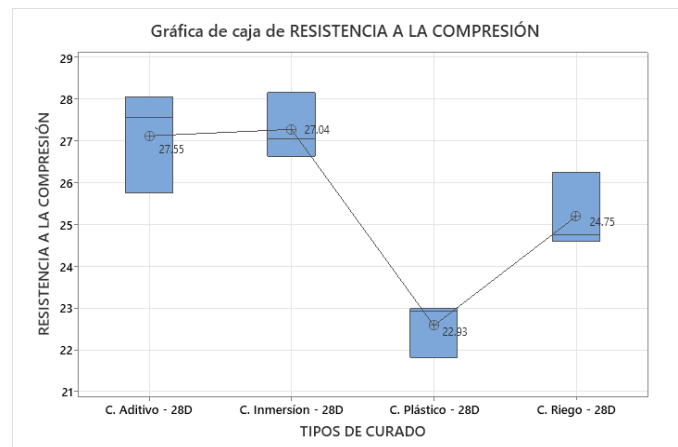


Figura 5. Gráfica de cajas de resistencia a la compresión a los 28 días según el tipo de curado.

Nota: Obtenido con el procesamiento de datos del software Minitab 22,2,1 (2025)

La **Figura 5** detalla la distribución estadística de la resistencia a la compresión a los 28 días para los cuatro métodos de curado evaluados, destacando valores como la mediana, el rango intercuartil y posibles asimetrías en la distribución.

Curado por Inmersión (C-1):

- Mediana: 27,04 MPa.
- Rango intercuartil (RI): 1,52 MPa.
- Distribución: Se tiene que la media (27,27 MPa) es ligeramente superior a la mediana, lo que sugiere una leve asimetría positiva. Este comportamiento indica

que algunos valores más altos incrementaron el promedio, aunque la distribución general es uniforme. El curado por inmersión destacó por su rendimiento consistente y la menor variabilidad, consolidándose como el método más eficiente.

Curado con Aditivo Impermeabilizante (C-2):

- Mediana: 27,55 MPa.
- Rango intercuartil (RI): 2,28 MPa.
- Distribución: Se muestra que la media (27,12 MPa) es menor que la mediana, indicando una ligera asimetría negativa. Este método mostró un desempeño similar al curado por inmersión, siendo una opción eficiente y menos dependiente de recursos hídricos.

Curado por Riego (C-3):

- Mediana: 24,75 MPa.
- Rango intercuartil (RI): 1,66 MPa.
- Distribución: Se aprecia que la media (25,20 MPa) es mayor que la mediana, reflejando una asimetría positiva causada por valores más altos que elevan el promedio. Este método tuvo un rendimiento intermedio, aunque con mayor variabilidad en comparación con los métodos más efectivos.

Curado con Recubrimiento Plástico (C-4):

- Mediana: 22,93 MPa.
- Rango intercuartil (RI): 1,16 MPa.
- Distribución: Se observa que la mediana supera a la media (22,58 MPa), indicando asimetría negativa y valores atípicos en el rango inferior. Este método presentó la mayor variabilidad y el peor desempeño, lo que reafirma su limitada capacidad para mantener condiciones de hidratación adecuadas.

El curado por inmersión (C-1) se destacó por su distribución uniforme y su rango intercuartil reducido (1,52 MPa), reflejando una alta consistencia. El curado con aditivo impermeabilizante (C-2) mostró un desempeño comparable, aunque con una ligera asimetría negativa. En contraste, el curado por riego (C-3) presentó una mayor variabilidad, influida por su dependencia de una aplicación constante. Finalmente, el curado con recubrimiento plástico (C-4) exhibió la menor eficiencia y mayor dispersión de los datos, confirmando su inferioridad frente a los otros métodos.

IV. CONCLUSIONES

El curado por inmersión mostró el mejor desempeño en todas las edades evaluadas, aumentando su resistencia de 21,95 MPa a los 7 días, 25,84 MPa a los 14 días y alcanzando 27,27 MPa a los 28 días. No obstante, su aplicación se restringe a entornos controlados, siendo inviable en estructuras reales por su alta demanda de agua y logística compleja.

El curado con aditivo impermeabilizante (Sika Antisol S) presentó un comportamiento progresivo con resistencias de 21,92 MPa a los 7 días, 23,69 MPa a los 14 días y 27,12 MPa a los 28 días. Su membrana redujo la evaporación y protegió el concreto de bajas temperaturas, optimizando el curado en climas fríos.

El curado mediante riego mostró un incremento gradual con resistencias de 18,09 MPa a los 7 días, 22,59 MPa a los 14 días y 25,20 MPa a los 28 días. Resulta viable en obras con acceso hídrico, siempre y cuando se garantice una aplicación constante de agua y se optimice su frecuencia y técnica para mejorar su eficiencia.

El curado con recubrimiento plástico alcanzó resistencias de 16,49 MPa a los 7 días, 19,42 MPa a los 14 días y 22,58 MPa a los 28 días, consolidándose como el menos eficiente. No obstante, logró retener parcialmente la humedad y brindar protección contra bajas temperaturas, mitigando los efectos climáticos adversos. Esto lo posiciona como una alternativa viable en situaciones donde otros métodos no sean factibles, cumpliendo además con los estándares de calidad establecidos.

El análisis de varianza (ANOVA) confirmó una alta significancia estadística ($P = 0,001$), lo que valida la influencia de los métodos de curado sobre la resistencia a la compresión del concreto.

El análisis post-hoc de Tukey clasificó los métodos en dos grupos, destacando la superioridad del curado por inmersión, aditivo impermeabilizante y riego (grupo A), frente al recubrimiento plástico (grupo B).

REFERENCIAS

- [1] Domat Ltda, "¿Qué es el concreto y por qué es esencial en la construcción?", 2023. <https://domatltda.com/que-es-el-concreto-y-por-que-es-esencial-en-la-construccion/>
- [2] CEMEX, "¿Por qué se determina la resistencia a la compresión en el concreto?", 2019. <https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto->
- [3] National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA), "CIP 11: El curado del concreto", 2020. <https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2020/04/CIP11es.pdf>
- [4] W. Stalin Alcívar, Y. Mieles Bravo, C. Pavón, E. Solórzano y L. Palacios, "Influencia del curado en obra sobre la resistencia a la compresión del concreto" Rev. Tec. Fac. Ing. Univ. Zulia, vol. ve2020(2), pp. 19-25, 2020. DOI: 10.22209/rt.ve2020n2a03
- [5] V. Marin Vigo, "Resistencia a la compresión del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ sometido a curado por aspersión 2, 3 y 5 veces al día, Cajamarca 2023" Tesis para optar al grado de bachiller, Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú, 2023. <https://hdl.handle.net/11537/36039>
- [6] O. Tapia Cabrera, "Influencia de los métodos de curado con aditivo químico en la resistencia a compresión del concreto de $f'_c=175 \text{ kg/cm}^2$ y 210 kg/cm^2 " Tesis para optar al grado de bachiller, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú, 2024. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/6785>
- [7] M. Al-Gburi, A. Almssad and O. Al-Zuhairi, "Evaluating Concrete Strength Under Various Curing Conditions Using Artificial Neural Networks" Publ. No. NCR 71 – ISSUE 2/2024, pp. 1-23, 2024. DOI: 10.2478/ncr-2024-0007

- [8] Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), "Mapa Climático del Perú". <https://www.senamhi.gob.pe>
- [9] L. Medina Cárdenas y N. Quispe Yucra, "Protección óptima en el proceso de curado y su influencia en la resistencia de los concretos expuestos a ciclos de congelamiento y deshielo", Tesis para optar al grado de bachiller, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú, 2017. <https://hdl.handle.net/20.500.12390/1928>
- [10] We School, "¿Qué le pasa al concreto con el frío?". <https://we-school.es/que-le-pasa-al-concreto-con-el-frio/>
- [11] Gestión, "En Perú el 80% de viviendas son autoconstruidas ¿cuáles son los riesgos?", 2023. <https://gestion.pe/peru/en-peru-el-80-de-viviendas-son-autoconstruidas-cuales-son-los-riesgos-sismos-desastres-naturales-noticia/?ref=gesr>
- [12] E. Salcedo, "La industria de la construcción: una salida para Cajamarca", Dracos Suramérica, 2025. <https://dracossuramerica.com/la-industria-de-la-construccion-una-salida-para-cajamarca/>
- [13] ASTM C31/C31M-19: Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field. ASTM International, 2019. Available at: https://www.astm.org/c0031_c0031m-19.html
- [14] H. Romero Urréa, J. J. Real Cotto, J. L. Ordoñez Sánchez, G. E. Gavino Díaz y G. Saldarriaga, "Metodología de la investigación científica", 2021. https://www.researchgate.net/publication/356568692_Metodologia_de_la_investigacion_cientifica
- [15] ACI Committee 214, "Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete," ACI 214R-11, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA, 2017.