

## Efecto de temperatura de curado en épocas de heladas sobre la resistencia del concreto

### Effect of curing temperature in frosty seasons on concrete strength

**Yeny Mariluz Copa Mamani 1**  
YECOPAMA@ucvvirtual.edu.pe  
ORCID 0009-0005-3033-1075  
Universidad Cesar Vallejo  
Perú, Juliaca

**Luis Alfonso Juan Barrantes Mann 2**  
BARRANTESMA@ucvvirtual.edu.pe  
ORCID 0000-0002-2026-0411  
Universidad Cesar Vallejo  
Perú, Lima

#### RESUMEN

El objetivo fue analizar el efecto de temperatura de curado en épocas de heladas sobre la resistencia del concreto  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>. Para el concreto se tomaron agregados naturales de río y se diseñó con la ACI 211; se elaboró 25 muestras para ensayos de compresión y 25 para flexión, las muestras se curaron a 0, 3, 7, 21 y 28 días en los meses de junio a julio registrando temperaturas de -12 a 20 °C. Los resultados a compresión fueron de 115, 134, 176, 182 y 195 kg/cm<sup>2</sup> y flexión de 36.5, 44.0, 54.0, 58.8 y 63.9 kg/cm<sup>2</sup> para 0, 3, 7, 21 y 28 días de curado respectivamente. Concluyendo que la resistencia del concreto se incrementa en relación directa a los días y temperatura del curado; además, la propiedad de resistencia se reduce hasta un 45% en comparación a los concretos curados los 28 días en condiciones normales.

**Palabras clave:** Temperatura de curado; Épocas de helada; Resistencia del concreto.

#### ABSTRACT

The objective was to analyze the effect of curing temperature in frosty seasons on the resistance of concrete  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>. For the concrete, natural river aggregates were taken and designed with ACI 211; 25 samples were prepared for compression tests and 25 for flexion, the samples were cured for 0, 3, 7, 21 and 28 days in the months of June to July, registering temperatures from -12 to 20 °C. The compression results were 115, 134, 176, 182 and 195 kg/cm<sup>2</sup> and flexion of 36.5, 44.0, 54.0, 58.8 and 63.9 kg/cm<sup>2</sup> for 0, 3, 7, 21 and 28 days of curing respectively. Concluding that the resistance of the concrete increases in direct relation to the days and temperature of the curing; In addition, the resistance property is reduced up to 45% compared to concrete cured for 28 days under normal conditions.

**Key words:** Curing temperature; Frosty seasons; Concrete strength.

## INTRODUCCIÓN

El concreto es uno de los materiales más utilizados en la construcción debido a su alta resistencia, durabilidad y versatilidad. Sin embargo, su comportamiento y propiedades pueden verse afectados por diferentes factores externos, entre ellos, la temperatura durante el proceso de curado. La resistencia del concreto es una de las características más cruciales para garantizar la integridad estructural de las construcciones, especialmente en áreas donde las heladas son frecuentes durante ciertas épocas del año.

Las bajas temperaturas pueden tener un impacto significativo en la formación y desarrollo de la resistencia del concreto, ya que influyen en las reacciones químicas que ocurren durante el proceso de hidratación del cemento. En épocas de heladas, el agua presente en la mezcla de concreto puede congelarse, lo que provoca la formación de cristales de hielo y, consecuentemente, microfisuras en la matriz del material. Estas microfisuras pueden disminuir la resistencia y la durabilidad del concreto, comprometiendo la seguridad y la vida útil de las estructuras.

Ante esta problemática, es fundamental investigar el efecto de la temperatura de curado en épocas de heladas sobre la resistencia del concreto. Comprender cómo las condiciones climáticas adversas pueden afectar el proceso de endurecimiento del material permitirá desarrollar estrategias de curado adecuadas que mejoren su comportamiento frente a situaciones de exposición a bajas temperaturas.

En esta investigación, se llevó a cabo un estudio para analizar y comparar la resistencia del concreto cuando se somete a diferentes tiempos de curado durante periodos de heladas en que se registran en los meses de junio a julio en la ciudad de Juliaca que se encuentra en la cordillera de los andes peruanos con una altura superior de los 3820 msnm.

El curado tiene por finalidad darle al concreto humedad y temperatura necesarias para la maduración de sus propiedades mecánicas de diseño (Amin & Ordoñez, 2021); para Catacora, (2015), las temperaturas bajas debilitan en gran medida propiedades de resistencia del hormigón, limitando el desarrollo de su resistencia e incrementando la aparición de fisuras por contracción plástica; López y Mamani (2017), manifiestan que el concreto es afectado severamente por las heladas que se tiene en la región altiplánica de Puno, reduciendo el tiempo de vida de las estructuras.

Li, et al. (2020), describen que el concreto sufre directamente heladas tempranas después del vaciado, ocasionando la pérdida de resistencia en un 100% a 5 °C y en un 80% a 15 °C; en la investigación realizada por Choi, Zhang & Hama (2017), manifiestan que los concretos con resistencia superiores de 500 kg/cm<sup>2</sup> están sujetos a un deterioro de la durabilidad cuando se dañan por heladas tempranas; por su parte Tavasoli, Nili & Serpoosh (2018), investigó sobre el efecto de cenizas desecho de horno en la resistencia a heladas del hormigón autocompactante, demostrando que la resistencia del concreto frente a las heladas está altamente influenciada por el contenido de cemento, por el contrario, si se reemplaza contenidos de cemento se reduce la durabilidad del concreto al aumentar la

cantidad de reemplazo de otro material, como es el caso de cenizas volantes. En el 2015 (Niño), analizó los efectos de los curados de tipo ambiental, convencional y los tratamientos térmicos de vapor en concretos de alta resistencia; demostrando que los diferentes tipos de curado tienen un impacto para alcanzar las altas resistencias a compresión a edades tempranas. Además, los tratamientos con vapor mostraron mejores resultados después de 3 días, con más del 90% de la resistencia. Finalmente contamos con el estudio de Solís, Moreno & Serrano (2013), quienes analizaron la influencia de tiempos de curado sobre la resistencia y durabilidad de hormigones en climas tropicales; llegando a concluir que la exposición a condiciones severas el concreto debe curarse para mantener sus propiedades de durabilidad y resistencia.

En resumen, esta investigación tiene como objetivo abordar la influencia del efecto de temperatura de curado en épocas de heladas sobre la resistencia del concreto, con la finalidad de ofrecer recomendaciones y soluciones efectivas que contribuyan al desarrollo sostenible y a la construcción de infraestructuras más seguras y duraderas en poblaciones altiplánicas que presentan ciclos de heladas en el año.

## MÉTODO

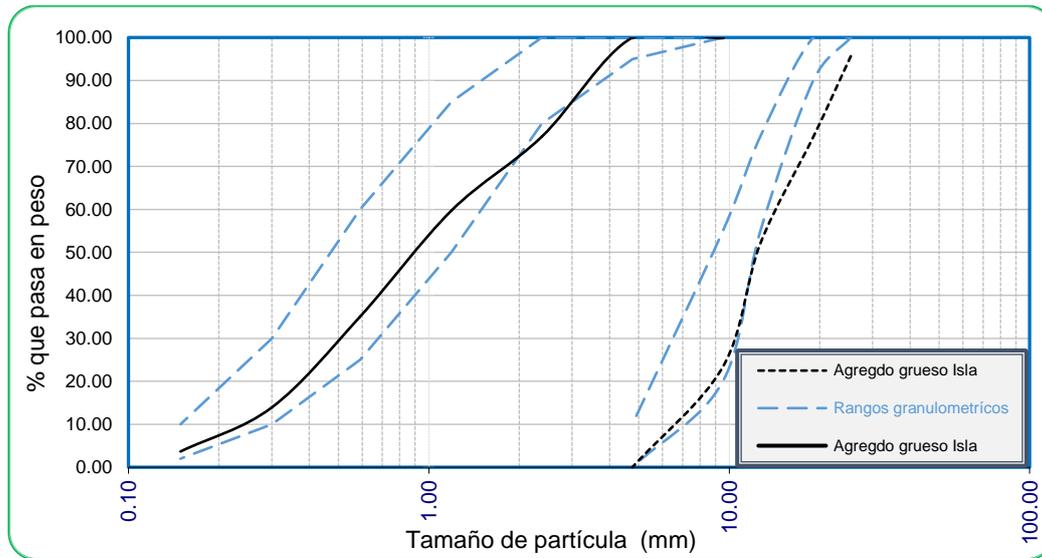
Se empleó agregados naturales de la cantera del río Isla (agregado empleado en concretos de Juliaca); clasificando por tamaños en arenas y gravas (tamaño máximo  $\frac{3}{4}$ "), a los cuales se realizaron los ensayos de contenido de humedad, granulometría, peso unitario, gravedad específica y absorción; empleando las normativas ASTM C-136, ASTM C-29 y ASTM C-128 respectivamente; con esto valores se diseñó el concreto para una resistencia  $f'_c$  de 210kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.

Con la información del párrafo anterior se realizó el concreto y se tomaron 25 muestras de concreto siguiendo las especificaciones normativas de las ASTM C 172 para realizar el ensayo de compresión simple realizada bajo la norma ASTM D 422; y 25 muestras de núcleos de vigas, éstas fueron realizadas bajo la normativa ASTM C 42 para realizar los ensayos de flexión; el asentamiento fue medido siguiendo las especificaciones normativas de ASTM C 143.

Las muestras fueron curadas a 0, 3, 7, 21 y 28 días, en el periodo de 02 de junio al 03 de julio del 2023 (tiempo donde se registran heladas en Juliaca); además, en dicho periodo se registraron las temperaturas cada dos horas a partir de las 4:00 am a las 10:00 pm horas; al cabo de los 28 días todas las muestras fueron ensayadas con la norma ASTM D 422 para determinar el comportamiento del esfuerzo a la compresión y la ASTM C 42 para los esfuerzos a flexión con el fin de establecer la influencia de la temperatura de curado en épocas de heladas sobre la resistencia del concreto.

Con la finalidad de analizar el efecto de temperatura de curado en épocas de heladas sobre la resistencia del concreto se realizó un comparativo con concretos curadas a 0, 3, 7, 21 y 28 días en condiciones normales en el periodo de 15 de marzo al 13 de abril del 2023 donde de igual manera se registraron las temperaturas y se realizaron la misma metodología del párrafo anterior.

## RESULTADOS



**Fig. 1.** Propiedades granulométricas del agregado natural

La figura 1 muestra la granulometría de los agregados gruesos y finos de la cantera Isla empleados en la experimentación, donde se puede apreciar que la arena se encuentra fuera de los rangos granulométricos de la normativa ASTM-C-33 y las gravas son las únicas que cumplen con referidos rangos granulométricos.

**Tabla 1.** Características técnicas de los agregados

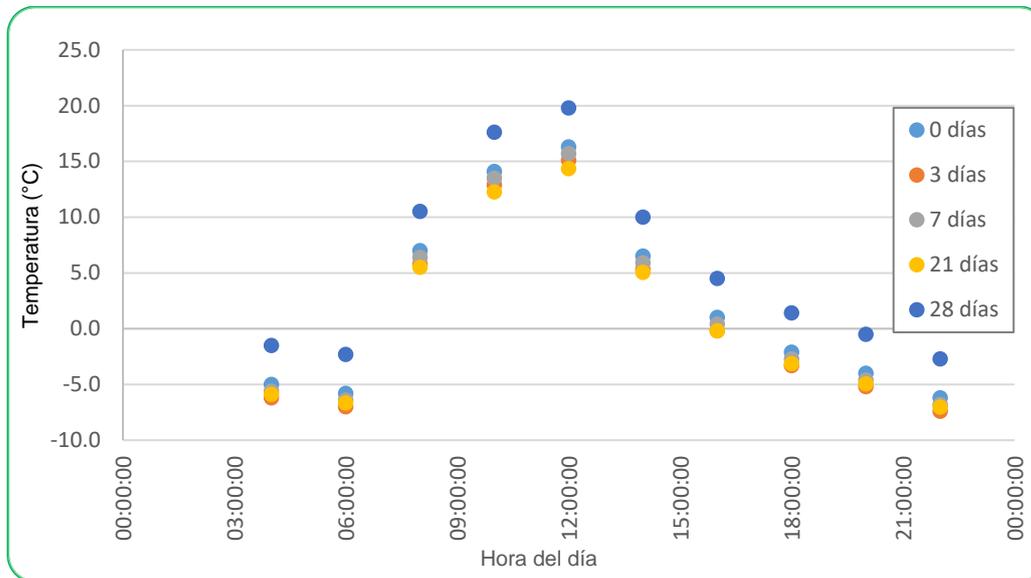
Propiedades físicas	Unidad	Agregado fino	Agregado grueso
Masa Unit. Seco Compactado	Kg/m <sup>3</sup>	1.988	1.905
Masa Unitario Seco Suelto	Kg/m <sup>3</sup>	1.896	1.804
Masa Específico de muestra	gr/cc	2.577	2.593
% de Humedad	%	7.82	4.10
% de Absorción	%	2.390	1.520
Módulo de Finura	--	3.4068	7.5319
Tamaño Máximo de agregado	Pulgadas	--	1"

La tabla 1 muestra las propiedades y características los agregados gruesos y finos de la cantera Isla empleados en la experimentación, donde podemos apreciar que valores similares de las gravas y arenas; con estos datos fue elaborado el diseño de mezcla del concreto de presente investigación.

**Tabla 2.** Diseño de mezcla f'c 210 kg/cm<sup>2</sup>

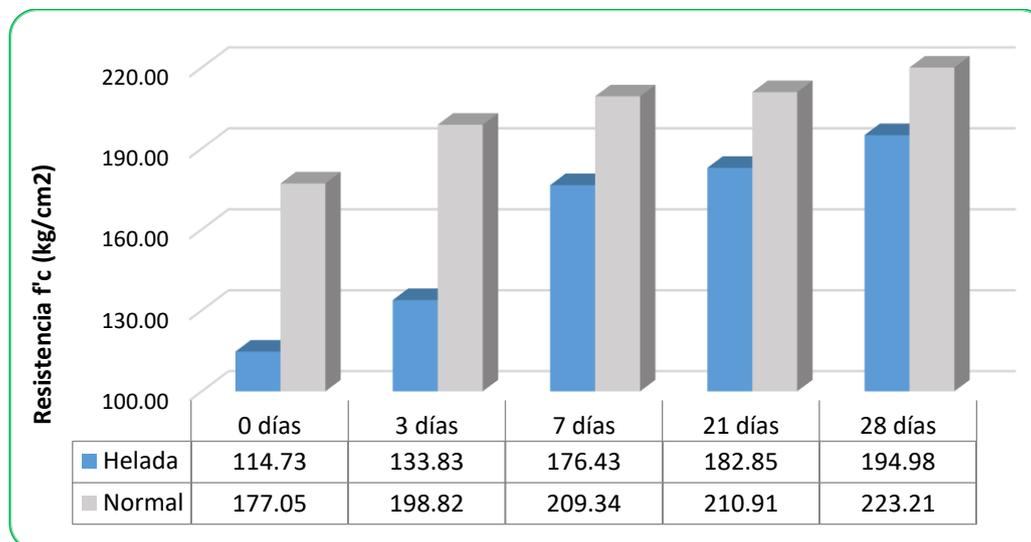
Componente de la mezcla	Cantidad en peso por m <sup>3</sup> (kg)	Cantidad en obra por pie <sup>3</sup> (1 bolsa)
Cemento	350.90	1.00
Arena	723.80	2.52
Grava	1062.90	1.63
Agua (litros)	129.00	15.64

La tabla 2 muestra las proporciones de los componentes del diseño de mezcla del concreto empleado en la experimentación; donde apreciamos las cantidades por un metro cubico de concreto y por una bolsa de cemento (42.5 kg) utilizado en obra.



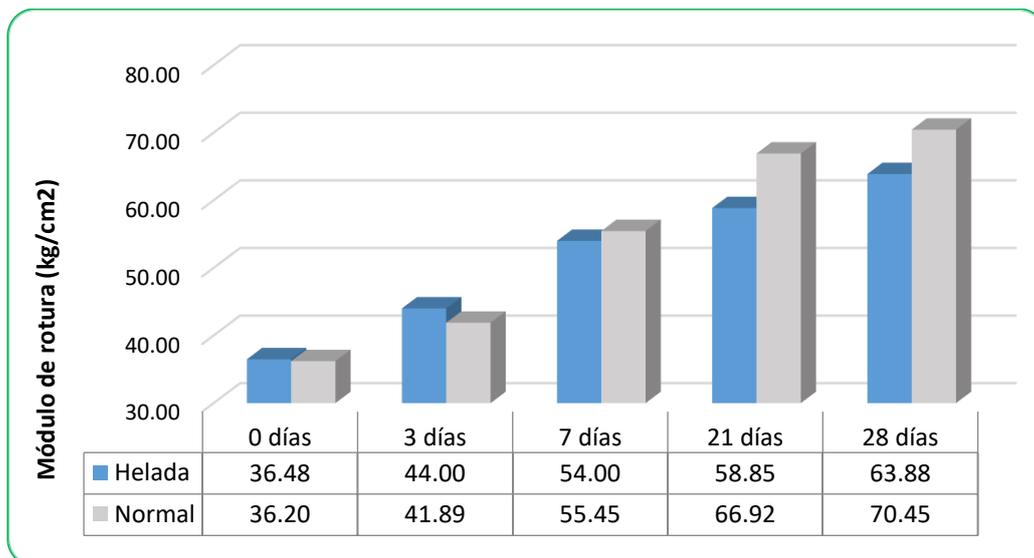
**Fig. 2.** Temperaturas en el periodo de curado del concreto

La figura 2 nos presenta el registro de temperaturas en el periodo de curado; donde observamos que la temperatura varía en relación de la hora del día variando entre -10 a 20°C; además, observamos que la variación de la temperatura es similar durante el periodo de fraguado.



**Fig. 3.** Resistencia a compresión en épocas de heladas vs condiciones normales

La figura 3 muestra las resistencias a compresión en épocas de heladas vs la resistencia en condiciones normales, donde apreciamos que la resistencia a la compresión del concreto se incrementa en relación directa a los días de fraguado, además, el concreto alcanza su máximo valor cuando éste es curado los 28 días de fraguado; y cuando el concreto no es curado su valor se reduce hasta 114 kg/cm<sup>2</sup> significando una reducción del 45% en comparación a los concretos curados en condiciones normales los 28 días.



**Fig. 4.** Resistencia a flexión en épocas de heladas vs condiciones normales

La figura 4 muestra las resistencias a flexión en épocas de heladas vs la resistencia en condiciones normales, donde apreciamos que la resistencia a flexión del concreto se incrementa en relación directa a los días de fraguado, además, el concreto alcanza su máximo valor cuando éste es curado los 28 días de fraguado; y su valor se reduce significativamente curado el concreto no es curado; además, notamos que la temperatura de curado em épocas de helada influye sobre dicha propiedad de resistencia.

## DISCUSIÓN

De acuerdo a lo presentado en la figura 1 y tabla 1, la curva de granulometría de los agregados de la cantera Isla se encuentra dentro de los límites establecidos en las normas granulométricas para el concreto, y las propiedades y características físicas y mecánicas de los agregados muestran valores aceptables para la preparación de hormigón para una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>. Estos hallazgos también son consistentes con los de Nio (2015) y Jiménez y Ordoez (2021).

De acuerdo a los datos en la figura 3 es evidente que la resistencia a la compresión de los concretos curados en épocas de heladas son claramente menores a los concretos curados en condiciones normales, siendo menor hasta un 45% cuando el concreto no se cura; estos resultados concuerdan con los resultados de Catacora (2015), Maldonado (2015), Cuellar y Sequeiros (2017), Solís, Moreno y Serrano (2013) y Beltrán (2015) donde expresan que las heladas influyen de manera negativa sobre la resistencia a la compresión del concreto.

Con respecto a la resistencia a la flexión del concreto, las figuras 28 y 29 evidencian que la resistencia a la flexión de los concretos 210 kg/cm<sup>2</sup> curados a los 0, 3, 7, 21 y 14 días en épocas de heladas son muy similares a los concretos curados en condiciones normales; además se observa que el porcentaje de variación de la resistencia a la flexión de los concretos 210 kg/cm<sup>2</sup> curados a 0, 3, 7, 21 y 28 días en condiciones normales y épocas de heladas tienen mayor diferencia a los 21 y 28 días; estos datos son similares a los obtenidos por Beltrán (2015).

## CONCLUSIONES

Las propiedades y características de los agregados de la cantera Isla muestran resultados aceptables para la elaboración de concreto para una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>, la curva granulometría se encuentra dentro de los rangos establecidos en la norma, Peso Unitario Seco Compactado fue de 1.988 y 1.905 kg/m<sup>3</sup>, el Peso Unitario Seco Suelto fue de 1.896 y 1.804 kg/m<sup>3</sup>, Peso Específico de la masa fue de 2.577 y 2.593 gr/cc, el Porcentaje de Absorción fue de 2.390 y 1.520 para los agregados finos y gruesos respectivamente.

Respecto a la temperatura se concluye que el registro de temperaturas en el periodo de curado varía en función de la hora del día; siendo similar para los días de curado de 0, 3, 7, 21 y 28 días; variando entre -10 a 20°C y para el curado en condiciones normales se tuvieron entre -2.2 hasta 21.0 °C.

Respecto a la resistencia a la compresión se concluye que la resistencia a la compresión de los concretos para una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> se incrementa en función a los días de curado, además se observa que dicha resistencia curadas en épocas de heladas son claramente menores a los concretos curados en condiciones normales, siendo menor hasta un 45% cuando el concreto no se cura ni un solo día y 7.15% menor cuando se cura los 28 días.

Respecto a la flexión se concluye que esta característica en los concretos 210 kg/cm<sup>2</sup> curados a los 0, 3, 7, 21 y 28 días en épocas de heladas son muy similares a los concretos curados en condiciones normales; además se observa que el porcentaje de variación de dicha resistencia en condiciones normales y épocas de heladas tienen mayor diferencia a los 21 y 28 días.

## CONFLICTO DE INTERESES.

En este trabajo no se tuvo financiamiento, vínculos personales ni intereses profesionales, por lo que, los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

## REFERENCIAS

- Amín Jiménez, Z. L., & Ordoñez Deart, J. D. (2021). Análisis de la influencia de las técnicas empleadas para el curado de cilindros de concreto hidráulico sobre la resistencia a la compresión.
- Catacora Ccama, O. A. (2015). Influencia de coberturas orgánicas, en el proceso de fraguado de concreto en épocas de heladas en el distrito de José Domingo Choquehuanca-Azángaro.

- Cuellar Loaiza, J. C., & Sequeiros Arone, W. (2017). Influencia del curado en la resistencia a la compresión del concreto preparado con cemento portland tipo I y cemento puzolánico tipo IP en la ciudad de Abancay–Apurímac.
- Łaźniewska-Piekarczyk, B. (2013). The type of air-entraining and viscosity modifying admixtures and porosity and frost durability of high performance self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 40, 659-671.
- Li, P., Gao, X., Wang, K., Tam, V. W., & Li, W. (2020). Hydration mechanism and early frost resistance of calcium sulfoaluminate cement concrete. *Construction and Building Materials*, 239, 117862.
- Qin, Y. H., Deng, S. C., & Zhang, X. B. (2007). Frost resistance of recycled concrete. *Journal of Central South University of Technology*, 14, 409-413.
- Ryou, J. S., & Lee, Y. S. (2013). Use of tableting & coating accelerator for the prevention of early-frost of concrete in cold weather. *Cold regions science and technology*, 87, 1-5.
- Solís-Carcaño, R. G., Moreno, E. I., & Serrano-Zebadua, C. (2013). Influencia del tiempo de curado húmedo en la resistencia y durabilidad del concreto en clima tropical. *Concreto y cemento. Investigación y desarrollo*, 4(2), 15-25.
- Tavasoli, S., Nili, M., & Serpoush, B. (2018). Effect of GGBS on the frost resistance of self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*, 165, 717-722.
- Zhu, X., Miao, C., Liu, J., & Hong, J. (2012). Influence of crumb rubber on frost resistance of concrete and effect mechanism. *Procedia Engineering*, 27, 206-213.