

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Influencia de la temperatura ambiental y los tiempos de
fraguado en la resistencia a la compresión del concreto $f'_c=210$
kg/cm² en tres zonas climáticas del sur del Perú**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Eberth David Larico Larico
Robert Merino Cardenas

Asesor:

Mg. Moises Araca Chile

Juliaca, noviembre de 2025

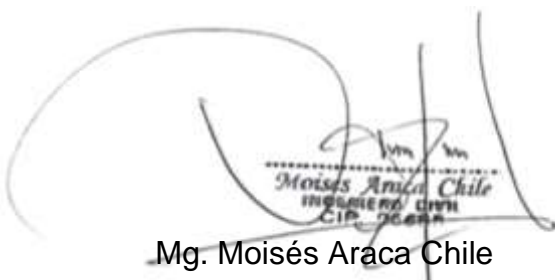
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Mg. Moisés Araca Chile docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL Y LOS TIEMPOS DE FRAGUADO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO $F'C=210$ KG/CM² EN TRES ZONAS CLIMÁTICAS DEL SUR DEL PERÚ”** de los autores **Eberth David Larico Larico** y **Robert Merino Cardenas** tiene un índice de similitud de 10% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 02 días del mes de diciembre del año 2025.

A handwritten signature in black ink is written over a circular stamp. The stamp contains the text "Moisés Araca Chile" and "INGENIERO CIVIL" with a registration number "CIP. 26000".

Mg. Moisés Araca Chile

Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 12 día(s) del mes de noviembre del año 2026, las 10:30 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección de (de la) presidente(a)



el (la) secretario(a) Msc. Ector Mancami Chambi y los demás miembros Abg. Heron Diderly Pari Cusi y el (la) asesor(a) Abg. Moises Araca Chite

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: Influencia de la temperatura ambiental y los tiempos de fraguado en la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en tres zonas climáticas del sur del Perú

del(los) bachiller(es): a) Robert Merino Gardeas
 b) Eberth David Larico Larico
 c)

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Civil
(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Robert Merino Gardeas

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Buono</u>	<u>Muy Buono</u>

Bachiller (b): Eberth David Larico Larico

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Buono</u>	<u>Muy Buono</u>

Bachiller (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Firma]
 Presidente
[Firma]
 Asesor(a)
[Firma]
 Bachiller (a)

[Firma]
 Miembro
[Firma]
 Bachiller (b)

[Firma]
 Secretario/a



 Miembro

 Bachiller (c)

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. METODOLOGÍA.....	8
3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	9
4. RESULTADOS	11
5. DISCUSIONES	24
6. CONCLUSIONES.....	26
7. AGRADECIMIENTOS.....	27
8. REFERENCIAS	27
9. ANEXOS	30

Influencia de la temperatura ambiental y los tiempos de fraguado en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en tres zonas climáticas del sur del Perú

E. Larico-Larico¹ , R. Merino-Cardenas² 

*Autor de Contacto: eberthdavidlarico@gmail.com

RESUMEN

Se evaluó la influencia de la temperatura media del día de vaciado sobre los tiempos de fraguado por penetración (NTP 339.082/ASTM C403) y la resistencia a la compresión a 7 y 28 días (NTP 339.034; verificación RNE E.060) en tres localidades del sur del Perú: Juliaca (3 824 msnm; 22,33 °C), Macusani (4 315 msnm; 11,70 °C) y Mazuco (359 msnm; 33,65 °C). Se realizaron nueve ensayos in situ con penetrómetro (tres por localidad) y ensayos de compresión a 7 y 28 días. La temperatura mostró una asociación inversa y alta con los tiempos de fraguado (Spearman: ρ inicial = -0,949; ρ final = -0,953; $p < 0,01$): promedios h:m:s Mazuco = fraguado inicial 04:58:01 y fraguado final 07:17:12; Juliaca = fraguado inicial 05:43:11 y fraguado final 07:44:22; Macusani = fraguado inicial 09:35:06 y fraguado final 15:25:23, confirmando que el aumento térmico acelera la hidratación y acorta la transición entre fraguado inicial y final. En contraste, la temperatura del día no explicó la variabilidad de la resistencia a la compresión a 7 ni a 28 días; a 28 días, todas las series cumplieron la E.060. Las determinaciones se realizaron bajo condiciones reales de sitio (sin control de humedad relativa, viento ni radiación), por lo que los tiempos reflejan desempeño en campo. Operativamente, conocer los tiempos de fraguado inicial y final a la temperatura local permite programar el intervalo máximo entre capas; si la pausa supera el fraguado inicial sin preparar la interfaz, estudios reportan alta probabilidad de juntas frías, por lo que se recomienda reanudar antes del fraguado inicial y aplicar márgenes de seguridad.

Palabras clave: concreto; tiempo de fraguado; temperatura ambiente; resistencia a la compresión; juntas frías.

Citar como: E. Larico, R. Merino (2025), “Influencia de la temperatura ambiental y los tiempos de fraguado en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en tres zonas climáticas del sur del Perú” Revista ALCONPAT.

¹Departamento de Investigación, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Peruana Unión, Filial Juliaca, Perú.

Influence of ambient temperature and setting times on the compressive strength of concrete ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$) in three climatic zones of southern Peru

ABSTRACT

The influence of the average temperature on the day of pouring on the setting times by penetration (NTP 339.082/ASTM C403) and the compressive strength at 7 and 28 days (NTP 339.034; verification RNE E.060) was evaluated in three locations in southern Peru: Juliaca (3,824 m asl; 22.33 °C), Macusani (4,315 m asl; 11.70 °C), and Mazuco (359 m asl; 33.65 °C). Nine in-situ penetrometer tests (three per location) and compression tests at 7 and 28 days were performed. Temperature showed a strong inverse association with setting times (Spearman: initial $\rho = -0.949$; final $\rho = -0.953$; $p < 0.01$): average h:m:s Mazuco = initial setting time 04:58:01 and final setting time 07:17:12; Juliaca = initial setting time 05:43:11 and final setting time 07:44:22; Macusani = initial setting time 09:35:06 and final setting time 15:25:23, confirming that increased temperature accelerates hydration and shortens the transition between initial and final setting. In contrast, the daytime temperature did not explain the variability in compressive strength at 7 or 28 days; at 28 days, all series met E.060. The determinations were made under real-world site conditions (without control of relative humidity, wind, or radiation), so the times reflect field performance. Operationally, knowing the initial and final setting times at the local temperature allows for scheduling the maximum interval between coats; if the pause exceeds the initial set without preparing the interface, studies report a high probability of cold joints, so it is recommended to resume before the initial set and apply safety margins.

Keywords: concrete; setting time; ambient temperature; compressive strength; cold joints.

Influência da temperatura ambiente e dos tempos de pega na resistência à compressão do concreto ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$) em três zonas climáticas do sul do Peru

RESUMO

A influência da temperatura média no dia da betonagem nos tempos de presa por penetração (NTP 339.082/ASTM C403) e a resistência à compressão aos 7 e 28 dias (NTP 339.034; verificação RNE E. 060) foi avaliada em três localidades do sul do Peru: Juliaca (3.824 m de altitude; 22,33 °C), Macusani (4.315 m de altitude; 11,70 °C) e Mazuco (359 m de altitude; 33,65 °C). Foram realizados nove ensaios de penetração in situ (três por localidade) e ensaios de compressão aos 7 e 28 dias. A temperatura apresentou uma forte associação inversa com os tempos de presa (Spearman: ρ inicial = $-0,949$; ρ final = $-0,953$; $p < 0,01$): média h:m:s Mazuco = tempo de presa inicial 04:58:01 e tempo de presa final 07:17:12; Juliaca = tempo de presa inicial 05:43:11 e tempo de presa final 07:44:22; Macusani = tempo de presa inicial 09:35:06 e tempo de presa final 15:25:23, confirmando que o aumento da temperatura acelera a hidratação e encurta a transição entre a presa inicial e final. Em contrapartida, a temperatura diurna não explicou a variabilidade da resistência à compressão aos 7 ou 28 dias; aos 28 dias, todas as séries cumpriram o critério E. 060. As determinações foram feitas em condições reais de campo (sem controle da humidade relativa, vento ou radiação), pelo que os tempos refletem o desempenho em campo. Operacionalmente, conhecer os tempos de presa inicial e final à temperatura local permite programar o intervalo máximo entre demãos; se a pausa exceder o tempo de presa inicial sem preparar a interface, os estudos apontam para uma elevada probabilidade de juntas frias, sendo recomendado retomar o processo antes do tempo de presa inicial e aplicar margens de segurança.

1. INTRODUCCIÓN

El comportamiento del concreto durante sus primeras horas tras el vaciado depende en gran medida de las condiciones ambientales, siendo la temperatura uno de los factores más determinantes en la velocidad de hidratación del cemento (Castaño et al., 2011; Zeña, 2020). Esta influencia se manifiesta en la rapidez con que ocurren las reacciones químicas entre el agua y los componentes del cemento, impactando directamente en los tiempos de fraguado y en el desarrollo inicial de resistencia. Estos procesos, a su vez, tienen implicancias críticas en la programación de obra y en la calidad final del concreto. En la práctica constructiva, uno de los efectos más relevantes de un fraguado acelerado o retrasado es la formación de juntas frías, especialmente cuando no se realiza el vaciado continuo del concreto. Este problema puede generarse por demoras en la colocación del concreto desde la planta de concreto hasta el punto de colocación, debido a factores logísticos como el tráfico, la distancia o la programación deficiente de los envíos. De no ser gestionadas oportunamente, estas juntas pueden afectar la adherencia entre capas y comprometer la resistencia estructural del elemento (Huamán y Cárdenas, 2022). Diversos estudios han demostrado que temperaturas elevadas aceleran el fraguado, reduciendo el tiempo útil de trabajabilidad, mientras que temperaturas bajas lo retrasan, prolongando el endurecimiento y afectando la ganancia de resistencia a edades tempranas (ACI Committee 305, 2010; Gabalec, 2008). Sin embargo, muchas obras continúan empleando criterios estándar —como el umbral de 3.5 MPa propuesto por la ASTM C403— para estimar el fraguado inicial, sin adaptar los criterios a las condiciones climáticas específicas del entorno. Complementariamente, evidencia de campo sugiere que el umbral de 3,5 MPa de la ASTM C403 puede no capturar el instante práctico en que una reanudación entre tandas compromete la adherencia; por ello, se recomienda ajustar el criterio al clima local y apoyarlo en mediciones *in situ* con penetrómetro y observaciones de desempeño (Piyasena et al., 2013). En este contexto, el presente estudio se realizó en tres localidades del sur del Perú con características geográficas y climáticas contrastantes: Juliaca (3,824 m.s.n.m., 22.33 °C), Macusani (4,315 m.s.n.m., 11.7 °C) y Mazuco (359 m.s.n.m., 33.65 °C). Juliaca y Macusani pertenecen a la región altiplánica, con climas fríos y secos, mientras que Mazuco se ubica en la zona amazónica, donde predominan condiciones cálidas y húmedas. Estas diferencias ofrecen un marco experimental idóneo para analizar cómo varía el comportamiento del concreto bajo distintas temperaturas ambientales. Diversas investigaciones han mostrado que la temperatura ambiente incide de manera significativa en el desempeño del concreto. Rojas (2019), al evaluar concretos producidos en Jaén, reportó que a mayores temperaturas se incrementa la resistencia a la compresión a 7 días; sin embargo, a 28 días se observa una disminución de la resistencia media, evidenciando el doble efecto del calor: aceleración inicial y pérdida de desempeño a edades posteriores. De forma complementaria, en contextos amazónicos, Vásquez y Dávila (2019) analizaron concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en Tarapoto y hallaron que, cuando el concreto se elaboró a temperaturas superiores a 32 °C, las resistencias a 28 días fueron significativamente menores (148,6 kg/cm²), mientras que a temperaturas menores a 32 °C se alcanzaron valores promedio cercanos a 212,7 kg/cm², en concordancia con la especificación de diseño. Aunque existen investigaciones que abordan esta problemática desde enfoques como la calorimetría, los modelos de madurez o simulaciones numéricas, son aún escasos los estudios experimentales en campo que evalúen directamente la correlación entre la temperatura ambiente y propiedades clave del concreto, como el tiempo de fraguado y la resistencia a la

compresión a distintas edades (Morales et al., 2018; Castaño et al., 2011). Esta carencia de evidencia empírica limita la toma de decisiones técnicas durante la programación y control del vaciado. La investigación se realizó in situ en Juliaca, Macusani y Mazuco con concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Se utilizaron dos diseños de mezcla: con aire incorporado (aplicado en Macusani, 4315 m s. n. m.) y sin aire incorporado (aplicado en Juliaca y Mazuco). En ambos diseños se emplearon el mismo cemento y los mismos agregados fino y grueso, trasladados desde Juliaca para uniformizar la fuente de materiales; el agua de mezclado (y curado) se tomó de cada localidad. El objetivo general es determinar la influencia de la temperatura ambiental media en el fraguado inicial y final del concreto mediante el ensayo de resistencia a la penetración (NTP 339.082/ASTM C403). Los objetivos específicos son: (objetivo específico 1) evaluar la correlación entre la temperatura ambiental media del día de vaciado y la resistencia a la compresión a 7 y 28 días (NTP 339.034); y (objetivo específico 2) determinar si la temperatura del día de vaciado influye en el cumplimiento de la especificación del fraguado inicial y final (NTP 339.082/ASTM C403) y en la aceptación de la resistencia a 28 días conforme a la Norma E.060. Los hallazgos permitirán generar recomendaciones técnicas orientadas a mejorar la planificación del vaciado, prevenir la formación de juntas frías y optimizar la calidad del concreto expuesto a diferentes condiciones climáticas.

2. METODOLOGÍA

El estudio fue no experimental, de corte transversal (ex post facto) y enfoque cuantitativo, aplicado en condiciones reales de campo mediante observación sistemática y medición directa con ensayos estandarizados; se adoptó una estrategia comparativa entre Juliaca (3 824 m.s.n.m.), Macusani (4 315 m.s.n.m.) y Mazuco (359 m.s.n.m.), escenarios climática y geográficamente contrastantes que permitieron analizar el fraguado inicial y final y la ganancia de resistencia del concreto. La población se integró por los vaciados de concreto ($f'c=210 \text{ kg/cm}^2$) ejecutados en Juliaca, Macusani y Mazuco en el periodo analizado; la muestra fue no probabilística por conveniencia y comprendió tres vaciados experimentales ejecutados por los investigadores, uno en cada localidad. De cada vaciado se obtuvieron tres muestras para el ensayo de tiempo de fraguado por resistencia a la penetración (ASTM C403 / NTP 339.082), realizado con penetrómetro Acme y, y nueve especímenes cilíndricos para resistencia a la compresión (ASTM C39 / NTP 339.034), distribuidos en tres ensayos a 7 días y seis a 28 días. Asimismo, el número de réplicas se definió por norma: para ensayos en condiciones de campo se preparan tres especímenes por muestra (NTP 339.082, 7.1). En concordancia, se aplicaron los criterios de precisión para un solo operador (Tabla 1A de la NTP 339.082) como control de calidad de la repetibilidad: para fraguado inicial, la diferencia aceptable entre dos resultados es 9,8 min y el rango aceptable entre tres resultados es 11,4 min; para fraguado final, 12,5 min y 14,5 min, respectivamente. Por consiguiente, mantener tres determinaciones por localidad permitió verificar la repetibilidad sin perder homogeneidad del mortero obtenido por tamizado húmedo a través de malla N° 4 (4,75 mm); aumentar el número de moldes habría implicado fraccionar más el mortero y extender los tiempos de preparación, incrementando el riesgo de segregación, pérdida de agua y deriva térmica/temporal que distorsionan la curva de penetración.

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.1 Características de los materiales

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron agregados obtenidos en la ciudad de Juliaca (3824 m.s.n.m.). El agregado fino se extrajo de la cantera Isla, mientras que el agregado grueso (piedra chancada) se obtuvo de la cantera Yocara. El cemento empleado fue de la marca Rumi, Tipo IP, adquirido en Juliaca y posteriormente trasladado junto con los agregados a las localidades de Macusani (4315 m.s.n.m.) y Mazuco (359 m.s.n.m.), donde se elaboraron las mezclas y se realizaron los ensayos in situ. El agua utilizada fue potable y se obtuvo en cada localidad.

Tabla 1. Características de los materiales

Descripción		Unidad	Cemento	Agregados	
Cantera Procedencia :	Fino (Isla), Grueso (Piedra chancada - Yocara)		Rumi Tipo Ip	Fino	Grueso (Piedra Chancada)
Tamaño Máximo		pulg		Nº4	1"
Peso Especifico		gr/cc	2.8	2.96	2.59
Peso Unitario Suelto		kg/m ³		1568	1332
Peso Unitario Compactado		kg/m ³		1698	1510
Contenido De Humedad		%		6.11	4.22
Absorción		%		4.06	2.17
Modulo De Fineza				3.00	6.86

3.2 Diseño de mezcla método del comité 211 ACI

Conforme al método del Instituto Americano del Concreto (ACI), la dosificación se definió en función de los requisitos de desempeño y de exposición, estableciendo la relación a/c, el contenido de agua y de cemento, las proporciones de agregado fino y grueso y el uso de aditivos. El diseño consideró la resistencia de diseño (f'_c), la trabajabilidad requerida (slump), el tamaño máximo nominal del agregado, el módulo de finura y el contenido de aire, con el fin de obtener una mezcla equilibrada en resistencia, trabajabilidad y durabilidad. Se emplearon dos diseños: (a) mezcla con aire incorporado para Macusani (4315 m.s.n.m.), dada su mayor altitud y temperaturas bajas, lograda mediante aditivo incorporador de aire Sikaaer con dosificación 0,06 % respecto al peso del cemento (234 ml por bolsa) y (b) mezcla sin aire incorporado para Juliaca y Mazuco. El cemento y los agregados (arena y piedra chancada) fueron acopiados en Juliaca y trasladados a las localidades de ensayo; el agua de amasado se utilizó in situ en cada localidad. La inclusión de aire en Macusani se adoptó para mejorar la durabilidad en clima frío y contribuir a la trabajabilidad sin incrementar la relación agua/cemento.

Tabla 2. Dosificación de diseño de mezcla sin aire incorporado en volumen

Descripción	En pie ³	Proporción
Cemento (bolsas)	8.61	1
Agregado Fino (pie ³)	20.79	2.41
Agregado Grueso (pie ³)	25.03	2.91
Agua (litros)	19.58	19.6

Tabla 3. Dosificación de diseño de mezcla con aire incorporado en volumen

Descripción	En pie ³	Proporción
Cemento (bolsas)	9.20	1
Agregado Fino (pie ³)	19.52	2.12
Agregado Grueso (pie ³)	25.03	2.72
Agua (litro)	16.16	16.2
Aditivo Incorporador de Aire Sikaer (mililitro)	234 mililitro/bolsas (0.06% del Peso del Cemento)	

3.3 Diseño de Ensayo para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración.

Las ecuaciones que se describen a continuación son para determinar el tiempo de fraguado inicial y final. Según la NTP 339.082 (ASTM C403), el uso de regresión lineal en escala logarítmica requiere ajustar una recta entre $\log_{10}(t \text{ (min)})$ y $\log_{10}(RP \text{ (psi)})$ con al menos 6 lecturas que encuadren 500 psi y a 4000 psi; el ajuste debe cumplir el coeficiente de correlación $r \geq 0.98$ (equivalente a $R^2 \geq 0.9604$). Pueden excluirse puntos atípicos antes del ajuste; si aun así no se alcanza ese umbral, los tiempos de fraguado deben estimarse con el método gráfico/manual indicado por la norma.

$$\text{Log}(PR) = a + b \log(t) \quad (1)$$

Donde:

PR = resistencia a la penetración

t = tiempo transcurrido

a y b = constantes de regresión

Para calcular los tiempos de fraguado, de (1) se obtiene la siguiente ecuación.

$$\log(t) = \frac{\log(RP) + a}{b} \quad (2)$$

(2)

Para el tiempo de fraguado inicial reemplazar el valor de 500 por (RP) en la ecuación (2).

$$\log(t) = \frac{\log(500) + a}{b} \quad (3)$$

(3)

Luego: reemplazar el valor de $\log(t)$ de la ecuación (3).

$$t \text{ (min)} = (10)^{\log(t)} \quad (4)$$

Para el tiempo de fraguado final reemplazar el valor de 4000 por (RP) en la ecuación (2).

$$\log(t) = \frac{\log(4000) + \alpha}{b}$$

(5)

Luego: reemplazar el valor de $\log(t)$ de la ecuación (5).

$$t \text{ (min)} = (10)^{\log(t)} \quad (6)$$

4. RESULTADOS

4.1 Resultados del objetivo general

Objetivo general: Determinar la influencia de la temperatura ambiental media en el fraguado inicial y final de un concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en las localidades de Juliaca, Macusani y Mazuco.

4.1.1 Registro de temperatura ambiental

La temperatura ambiente se registró durante la ejecución del ensayo de resistencia a la penetración (ASTM C403), con lecturas cada 10–15 minutos desde el inicio hasta el término del ensayo. La “temperatura ambiental media” es el promedio de todas las lecturas de ese periodo; por ello el número de datos y la duración difieren entre localidades.

Tabla 4. Temperatura ambiental media por localidad el día del vaciado

Juliaca (3824 m.s.n.m.)		Macusani (4315 m.s.n.m.)		Mazuco (359 m.s.n.m.)	
Fecha:	18/03/2024	Fecha:	21/03/2024	Fecha:	23/03/2024
Hora	Temp. Ambiente (°C)	Hora	Temp. Ambiente (°C)	Hora	Temp. Ambiente
10:17 a. m.	19.80	09:20 a. m.	14.00	10:03 a. m.	32.30
10:43 a. m.	25.40	09:22 a. m.	13.50	10:13 a. m.	33.50
10:47 a. m.	24.20	09:38 a. m.	17.60	10:21 a. m.	33.80
11:15 a. m.	26.80	10:00 a. m.	18.60	10:33 a. m.	33.50
12:49 p. m.	25.90	10:16 a. m.	18.10	10:43 a. m.	32.30
01:49 p. m.	27.70	10:34 a. m.	18.70	10:51 a. m.	33.20
01:55 p. m.	22.50	10:40 a. m.	15.60	11:05 a. m.	33.50
02:21 p. m.	30.10	10:52 a. m.	14.10	11:15 a. m.	34.10
02:50 p. m.	26.60	11:13 a. m.	12.40	11:21 a. m.	34.30
03:20 p. m.	21.80	11:40 a. m.	11.70	11:31 a. m.	32.10
03:51 p. m.	20.30	11:50 a. m.	11.50	11:43 a. m.	33.90

04:05 p. m.	20.50	12:01 p. m.	11.40	11:49 a. m.	35.10
04:13 p. m.	18.40	01:08 p. m.	13.20	12:04 p. m.	35.60
04:20 p. m.	19.00	01:32 p. m.	13.80	12:13 p. m.	34.70
04:34 p. m.	18.80	02:25 p. m.	13.50	12:18 p. m.	35.00
04:48 p. m.	18.30	03:56 p. m.	15.90	12:31 p. m.	34.00
05:05 p. m.	18.30	05:26 p. m.	10.40	12:43 p. m.	35.40
05:21 p. m.	17.60	05:27 p. m.	9.60	12:51 p. m.	34.70
		06:33 p. m.	9.60	01:00 p. m.	34.90
		07:18 p. m.	6.10	01:10 p. m.	35.40
		07:29 p. m.	6.70	01:18 p. m.	33.20
		08:30 p. m.	4.60	01:47 p. m.	32.90
		09:31 p. m.	0.80	01:50 p. m.	31.60
		10:30 p. m.	4.20	02:01 p. m.	34.80
		11:22 p. m.	6.90	02:15 p. m.	37.00
				02:32 p. m.	32.20
				02:42 p. m.	32.90
				02:54 p. m.	32.60
				03:01 p. m.	32.50
				03:21 p. m.	33.80
				03:31 p. m.	35.20
				03:40 p. m.	35.50
				03:59 p. m.	35.60
				04:13 p. m.	38.90
				04:21 p. m.	37.50
				04:44 p. m.	32.90
				05:04 p. m.	31.50
				05:13 p. m.	31.20
				05:39 p. m.	30.60
Promedio	22.33	Promedio	11.7	Promedio	33.65

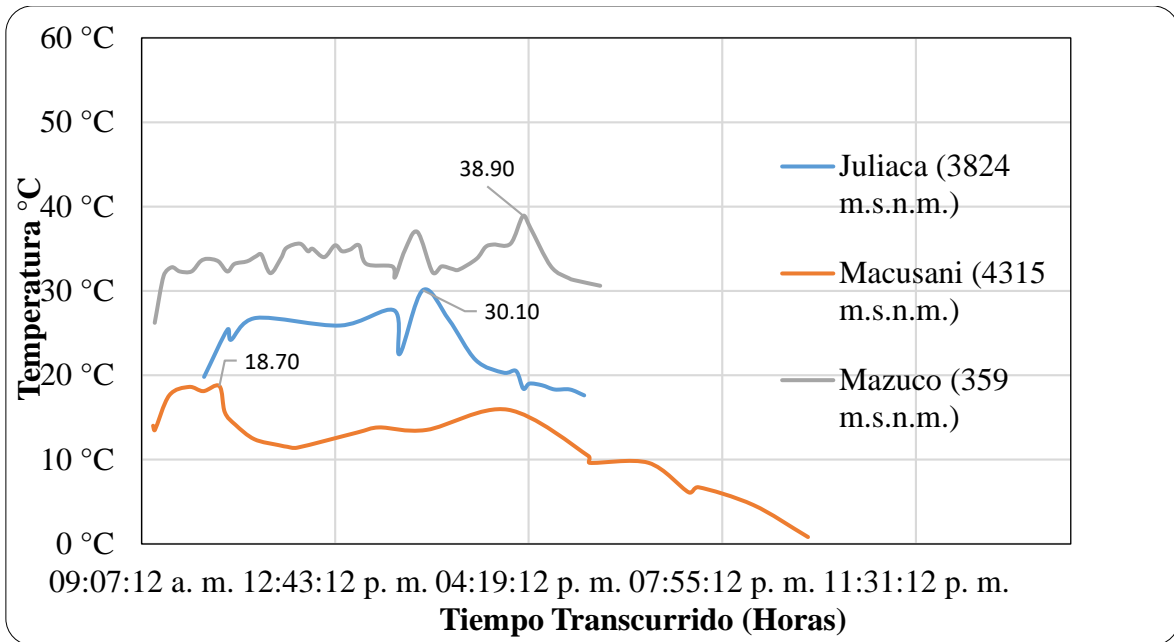


Figura 1. Evolución de la temperatura ambiente en cada localidad.



a) Juliaca 3824 msnm

b) Macusani 4315 msnm

c) Mazuco 359 msnm

Figura 2. Registro de la temperatura ambiental en cada localidad.

4.1.2 Ensayo de resistencia a la penetración (NTP 339.082 / ASTM C403)

Las mediciones se realizaron in situ, expuestas al ambiente de cada localidad; no en condiciones de laboratorio. Conforme a la NTP 339.082, la primera penetración se programó según la temperatura del sitio (3–4 h a 20–25 °C; 1–2 h si es más alta; 4–6 h si es más baja) y, a partir de esa lectura inicial, se continuó con intervalos de 0.5–1 h ajustados a la velocidad de fraguado. El tiempo se contó desde el contacto agua–cemento.

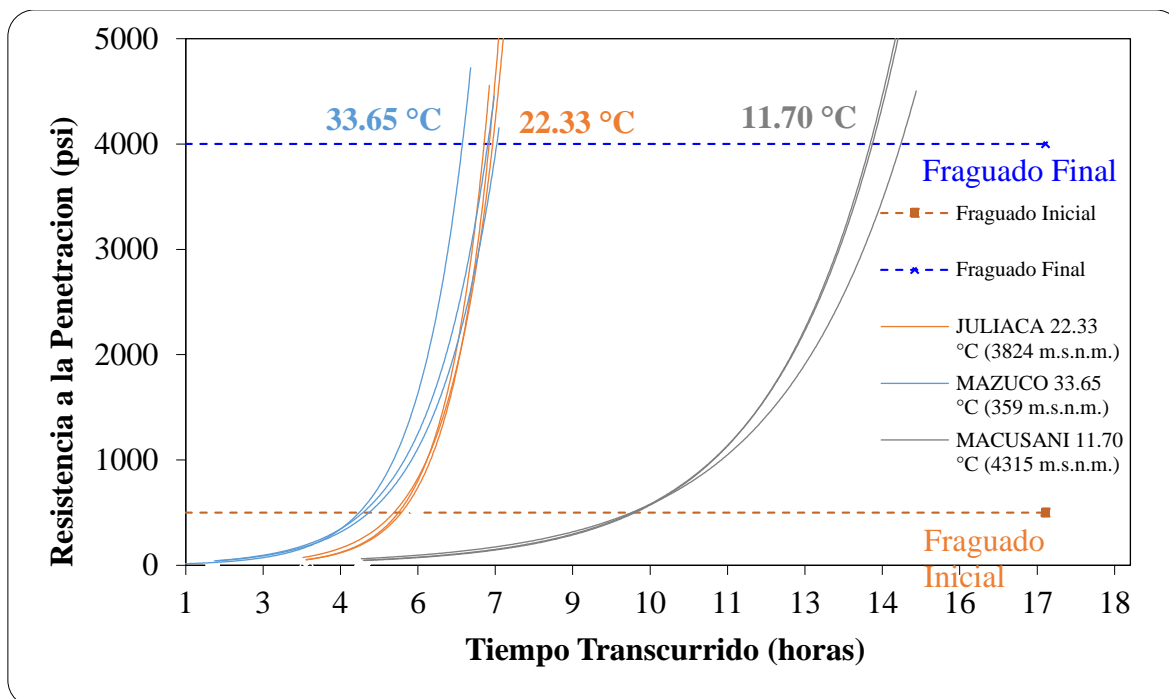


Figura 3. Se observa las nueve curvas (M1–M3) obtenidas in situ a distintas temperaturas ambientales y altitudes (Mazuco, Juliaca y Macusani).

Conforme a la NTP 339.082/ASTM C403, la figura 3 muestra que las nueve curvas (M1–M3 por localidad) evidencian que la temperatura ambiental medida in situ modula los tiempos de fraguado: en Mazuco (33,65 °C) los promedios fueron fraguado inicial 04:58 h y fraguado final 07:17 h; en Juliaca (22,33 °C), fraguado inicial 05:43 h y fraguado final 07:44 h; y en Macusani (11,70 °C), fraguado inicial 09:35 h y fraguado final 15:25 h, confirmando el orden Mazuco < Juliaca < Macusani y el efecto térmico sobre la cinética de hidratación y la duración de la transición entre fraguado inicial y final. Además, en esta investigación se consideró como variable principal únicamente la temperatura ambiental real de cada localidad, registrada en campo; no se controlaron otras variables microclimáticas potencialmente influyentes (humedad relativa, velocidad del viento, radiación) ni la temperatura del concreto o del agua de curado; por tanto, no se simuló condiciones en laboratorio y los tiempos reportados representan el comportamiento bajo condiciones reales, con atribución principalmente térmica y la salvedad de posibles efectos residuales de variables no controladas.

Los aspectos en los que influye la determinación del tiempo de fraguado, la determinación de fraguado inicial (500 psi) y fraguado final (4 000 psi) por penetración in situ (NTP 339.082/ASTM C403) a partir de las nueve curvas permite: atribuir con evidencia el efecto térmico (Mazuco alcanza antes los umbrales, Juliaca es intermedio y Macusani más tardío); cuantificar su magnitud (sensibilidad 10–12 min/°C en el fraguado inicial y 20 min/°C en el fraguado final); verificar la repetibilidad con tres réplicas por localidad (las diferencias entre localidades superan la variación dentro de cada localidad); estimar el tiempo final de forma consistente cuando no se alcanzó $\geq 4\ 000$ psi mediante un ajuste exponencial de $\ln R$ frente a t (evitando sesgos lineales); distinguir el efecto térmico de los factores de mezcla y de sitio (aire incorporado, tipo de cemento, relación a/c); asegurar

validez externa al medir a la temperatura real de cada localidad; y establecer el umbral técnico de continuidad monolítica: si el intervalo entre capas sucesivas excede el tiempo de fraguado inicial, la pasta pierde capacidad de interpenetración y aumenta la probabilidad de formar una junta fría (plano de menor adherencia y resistencia al corte), mientras que el tiempo de fraguado final marca el fin del trabajo plástico y la consolidación de la rigidez.



Figura 4. Se observa las muestras por localidad al término del ensayo de resistencia a la penetración.

4.1.3 Correlación entre la temperatura ambiental media y tiempo de fraguado inicial

Tabla 5. Correlación entre la temperatura ambiental media y tiempo de fraguado inicial.

Correlaciones				
			Temperatura ambiental media (°C)	Fraguado inicial (min)
Rho de Spearman	Temperatura ambiental media (°C)	Coefficiente de correlación	1.000	-.949**
		Sig. (bilateral)		0.000
		N	36	9
	Fraguado inicial (min)	Coefficiente de correlación	-.949**	1.000
		Sig. (bilateral)	0.000	
		N	9	9

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

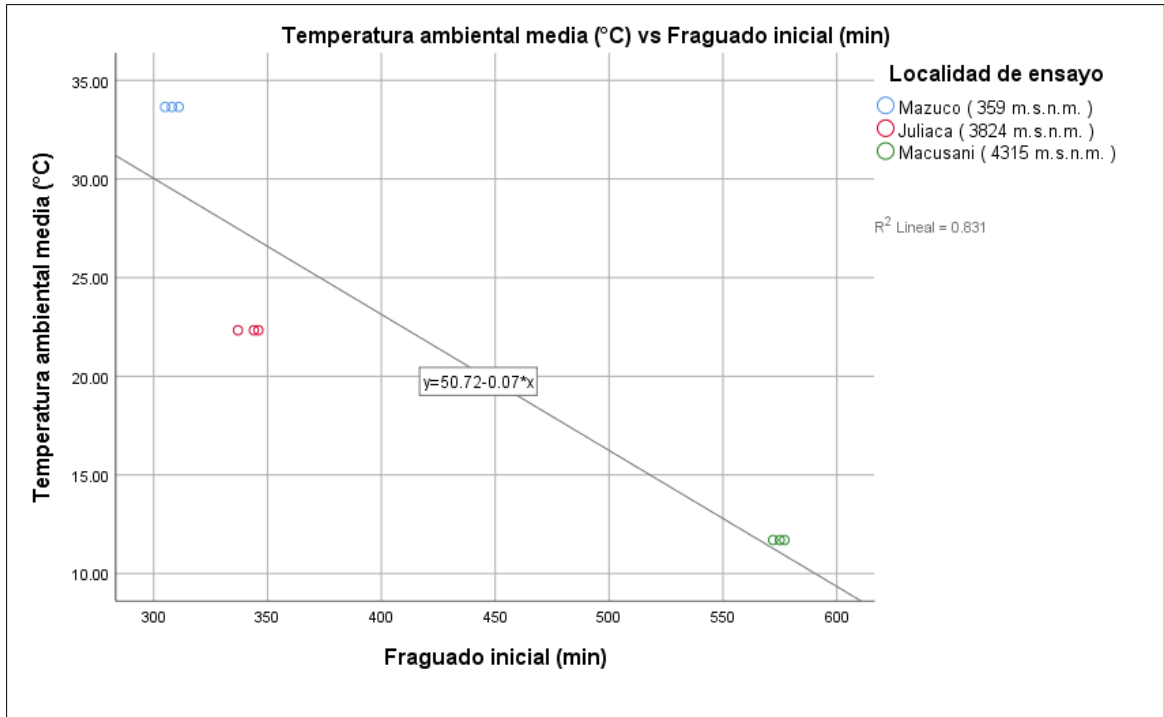


Figura 5. Relación entre la temperatura ambiental media y el tiempo de fraguado inicial

4.1.4 Correlación entre la temperatura ambiental media y tiempo de fraguado final

Tabla 6. Correlación entre la temperatura ambiental media y tiempo de fraguado final.

Correlaciones				
			Temperatura ambiental media (°C)	Fraguado final (min)
Rho de Spearman	Temperatura ambiental media (°C)	Coeficiente de correlación	1.000	-.953**
		Sig. (bilateral)		0.000
		N	36	9
	Fraguado final (min)	Coeficiente de correlación	-.953**	1.000
		Sig. (bilateral)	0.000	
		N	9	9

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

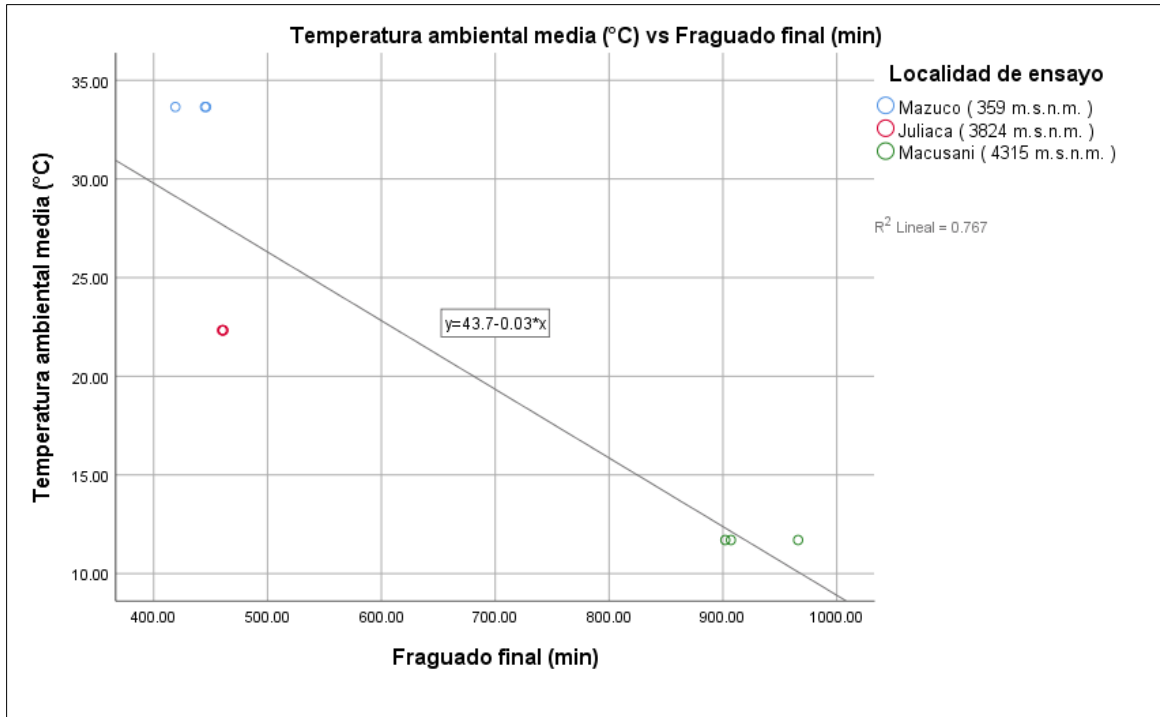


Figura 6. Relación entre la temperatura ambiental media y el tiempo de fraguado final

4.1.5 Síntesis del objetivo general

Con base en los ensayos realizados in situ y procesados conforme a la NTP 339.082, se verifica que la temperatura ambiental influye de manera inversa y marcada en los tiempos de fraguado del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. La correlación de Spearman entre la temperatura media del ensayo y el tiempo de fraguado fue muy alta y negativa tanto para el fraguado inicial ($\rho = -0.949$; $p < 0.01$; $N = 9$) como para el fraguado final ($\rho = -0.953$; $p < 0.01$; $N = 9$). Los promedios por localidad fueron: Juliaca, fraguado inicial 05:43:11 y fraguado final 07:44:22; Macusani, fraguado inicial 09:35:06 y fraguado final 15:25:23; y Mazuco, fraguado inicial 04:58:01 y fraguado final 07:17:12, confirmando que el aumento térmico acelera la cinética de hidratación y acorta la transición entre fraguado inicial y final. Esta interpretación es consistente con la literatura: a mayor temperatura, la hidratación temprana se acelera, la microestructura se densifica antes y el desarrollo de resistencia se adelanta. Metodológicamente, las determinaciones se realizaron bajo condiciones reales de sitio (sin control de humedad relativa, viento o radiación), por lo que los tiempos reportados representan el desempeño del concreto en campo. La repetibilidad entre réplicas se mantuvo dentro de los límites de control adoptados. Por consiguiente, se confirma que el incremento de la temperatura ambiente reduce los tiempos de fraguado inicial y final, cumpliéndose el objetivo general del estudio. Así, aunque la temperatura ambiental ejerce un efecto significativo, no agota la explicación de la variabilidad registrada, pues también intervienen otras variables, como la relación agua/cemento, la humedad relativa y la velocidad del viento. No obstante, los resultados cumplen lo previsto en el diseño de mezcla aplicado. Operativamente, conocer los tiempos de fraguado inicial y final a la temperatura local permite programar el intervalo máximo entre capas; cuando la pausa supera el fraguado inicial sin preparar la interfaz,

diversos estudios señalan que es muy probable la formación de juntas frías, por lo que se recomienda reanudar antes del fraguado inicial y aplicar márgenes de seguridad.

4.2 Resultados del objetivo específico 1

Evaluar la relación entre la temperatura ambiental media del día de vaciado y la resistencia a compresión a 7 y 28 días en las localidades de Juliaca Macusani y Mazuco.

4.2.1 Compresión a 7 días (NTP 339.034 / ASTM C39)

Los especímenes cilíndricos se elaboraron y curaron en campo conforme a la NTP 339.033. A los 7 días se ensayaron a compresión siguiendo la NTP 339.034: aplicación de carga continua hasta la rotura y cálculo de la resistencia como carga máxima dividida entre el área. Para cada localidad se reportan tres resultados individuales (N=3), aceptación del concreto se verifica a 28 días según la norma E.060.



Figura 7. Muestras cilíndricas de concreto en proceso de curado por inmersión en agua

Tabla 7. Ensayo de resistencia a la compresión por localidad a los 7 días.

N° TEST.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	FECHA		EDAD	SLUMP	CARGA (kg)	DIAM. (cm)	AREA (cm ²)	kg/cm ²	RESIST. ESPECIF.	% OBTENIDO
		VACIADO	ROTURA								
01	CONCRETO JULIACA M1	18/03/2024	25/03/2024	7	3	11700	10.80	91.61	127.72	210	60.82
02	CONCRETO JULIACA M2	18/03/2024	25/03/2024	7	3	12380	10.30	83.32	148.58	210	70.75
03	CONCRETO JULIACA M3	18/03/2024	25/03/2024	7	3	12200	10.40	84.95	143.62	210	68.39
04	CONCRETO MACUSANI M1	21/03/2024	28/03/2024	7	3.6	10470	10.10	80.12	130.68	210	62.23
05	CONCRETO MACUSANI M2	21/03/2024	28/03/2024	7	3.6	9690	10.00	78.54	123.38	210	58.75
06	CONCRETO MACUSANI M3	21/03/2024	28/03/2024	7	3.6	9030	10.40	84.95	106.30	210	50.62
07	CONCRETO MAZUCO M1	23/03/2024	30/03/2024	7	2.8	11690	10.00	78.54	148.84	210	70.88
08	CONCRETO MAZUCO M2	23/03/2024	30/03/2024	7	2.8	10710	10.10	80.12	133.68	210	63.66

09	CONCRETO MAZUCO M3	23/03/2024	30/03/2024	7	2.8	11440	10.60	88.25	129.64	210	61.73
----	--------------------	------------	------------	---	-----	-------	-------	-------	--------	-----	-------



Figura 8. Muestras sometidas a compresión a los 7 y 28 días de vaciado.

4.2.2 Compresión a 28 días (NTP 339.034 / ASTM C39)

Tabla 8. Ensayo de resistencia a la compresión por localidad a los 28 días.

N° TEST.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	FECHA		EDAD	SLUMP	CARGA (kg)	DIAM (cm)	AREA (cm ²)	kg/cm ²	RESIST. ESPECÍF.	% OBTENIDO
		VACIADO	ROTURA								
01	CONCRETO JULIACA M1	18/03/2024	15/04/2024	28	3	23130	10.20	81.71	283.07	210	134.80
02	CONCRETO JULIACA M2	18/03/2024	15/04/2024	28	3	22750	10.60	88.25	257.79	210	122.76
03	CONCRETO JULIACA M3	18/03/2024	15/04/2024	28	3	23020	10.40	84.95	270.98	210	129.04
04	CONCRETO JULIACA M4	18/03/2024	15/04/2024	28	3	21500	10.10	80.12	268.35	210	127.78
05	CONCRETO JULIACA M5	18/03/2024	15/04/2024	28	3	22800	10.20	81.71	279.04	210	132.87
06	CONCRETO JULIACA M6	18/03/2024	15/04/2024	28	3	22020	10.10	80.12	274.84	210	130.88
07	CONCRETO MACUSANI M1	21/03/2024	18/04/2024	28	3.6	21550	10.10	80.12	268.98	210	128.08
08	CONCRETO MACUSANI M2	21/03/2024	18/04/2024	28	3.6	20590	10.30	83.32	247.11	210	117.67
09	CONCRETO MACUSANI M3	21/03/2024	18/04/2024	28	3.6	21310	10.00	78.54	271.33	210	129.20
10	CONCRETO MACUSANI M4	21/03/2024	18/04/2024	28	3.6	23030	10.50	86.59	265.96	210	126.65

11	CONCRETO MACUSANI M5	21/03/2024	18/04/2024	28	3.6	21280	10.40	84.95	250.50	210	119.29
12	CONCRETO MACUSANI M6	21/03/2024	18/04/2024	28	3.6	20740	10.30	83.32	248.91	210	118.53
13	CONCRETO MAZUCO M1	23/03/2024	20/04/2024	28	2.8	21840	10.20	81.71	267.28	210	127.27
14	CONCRETO MAZUCO M2	23/03/2024	20/04/2024	28	2.8	21310	10.00	78.54	271.33	210	129.20
15	CONCRETO MAZUCO M3	23/03/2024	20/04/2024	28	2.8	21040	10.30	83.32	252.51	210	120.24
16	CONCRETO MAZUCO M4	23/03/2024	20/04/2024	28	2.8	22200	10.50	86.59	256.38	210	122.09
17	CONCRETO MAZUCO M5	23/03/2024	20/04/2024	28	2.8	22230	10.10	80.12	277.46	210	132.13
18	CONCRETO MAZUCO M6	23/03/2024	20/04/2024	28	2.8	20590	10.00	78.54	262.16	210	124.84

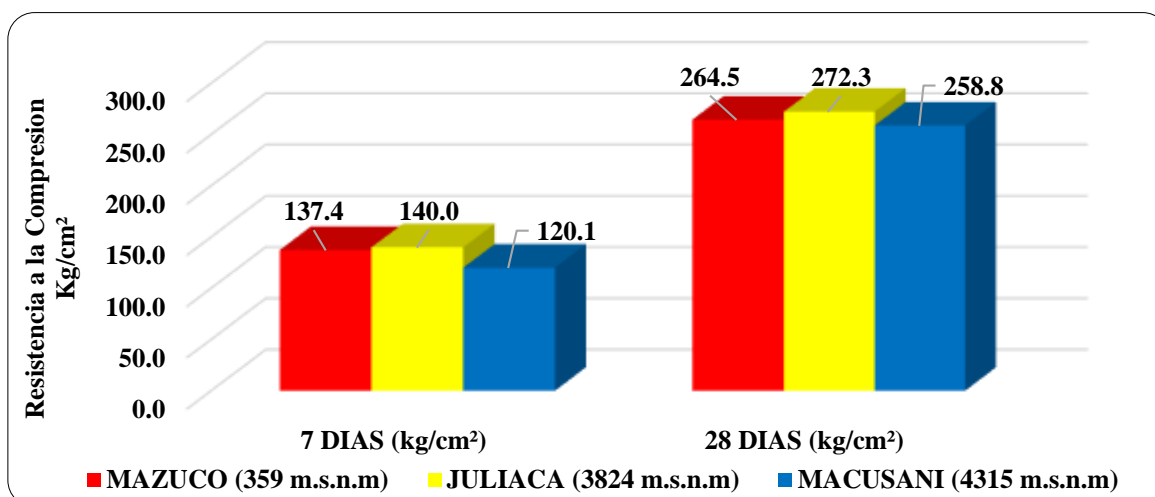


Figura 9. Resistencia promedio a la compresión del concreto a los 7 y 28 días en las tres localidades de estudio.

4.2.3 Correlación temperatura-resistencia (7 y 28 días)

Tabla 9. Correlación entre la temperatura ambiental media del día de vaciado y la resistencia a la compresión a los 7 días.

Correlaciones				
			Temperatura ambiental media (°C)	Resistencia a la compresión 7 días (kg/cm²)
Rho de Spearman		Coefficiente de correlación	1.000	0.580

	Temperatura ambiental media (°C)	Sig. (bilateral)		0.102
		N	36	9
	Resistencia a la compresión 7 días (kg/cm²)	Coefficiente de correlación	0.580	1.000
		Sig. (bilateral)	0.102	
		N	9	9

Tabla 10. Correlación entre la temperatura ambiental media del día de vaciado y la resistencia a la compresión a los 28 días.

Correlaciones				
			Temperatura ambiental media (°C)	Resistencia a la compresión 28 días (kg/cm²)
Rho de Spearman	Temperatura ambiental media (°C)	Coefficiente de correlación	1.000	0.210
		Sig. (bilateral)		0.403
		N	36	18
	Resistencia a la compresión 28 días (kg/cm²)	Coefficiente de correlación	0.210	1.000
		Sig. (bilateral)	0.403	
		N	18	18

4.2.4 Síntesis del Objetivo específico 1

Con los datos disponibles no se encontró una relación estadísticamente significativa entre la temperatura ambiental media del día de vaciado y la resistencia a la compresión: a 7 días $\rho = 0.580$ ($p = 0.102$; $N = 9$) y a 28 días $\rho = 0.210$ ($p = 0.403$; $N = 18$), por lo que no se evidencia una asociación robusta. El signo positivo sugiere una tendencia (mayor temperatura, mayor resistencia temprana), pero el tamaño muestral y la dispersión no permiten confirmarla. Debe considerarse, además, que la temperatura analizada corresponde solo al día de vaciado (no a la historia térmica de curado) y que en Macusani se usó mezcla con aire incorporado. En nuestras series, Macusani presentó a 7 días resistencias comparativamente menores que Juliaca y Mazuco; este patrón es coherente con la presencia de aire incorporado (mayor volumen de vacíos intencionales) y con un régimen de curado más frío, que atenúa la ganancia temprana de resistencia. A 28 días, todas las series alcanzaron la resistencia especificada, por lo que el aire incorporado no comprometió la conformidad normativa. En conjunto, este objetivo específico 1 no demuestra correlación significativa de la temperatura del día sobre la resistencia a la compresión a 7 y 28 días; a 28 días, todas las series cumplieron el f^c especificado (E.060).

Complementariamente, este objetivo evaluó de forma específica la variable temperatura ambiental del día de vaciado; no se controlaron otras covariables potencialmente influyentes

como la relación agua/cemento, el régimen y la temperatura de curado, la humedad ambiental, la temperatura del agua de mezcla, la compactación/vibrado ni la temperatura del concreto. En este contexto, el contenido de aire incorporado opera como una covariable no controlada entre localidades, por lo que parte de las diferencias de resistencia podría asociarse a esta condición junto con otras variables ambientales no medidas; se recomienda que futuros trabajos las controlen o incorporen análisis multivariable, tales como el método de madurez o modelos de regresión, para aislar sus efectos.

4.3 Resultados del objetivo específico 2

Determinar si la temperatura ambiental del día de vaciado influye en el cumplimiento de la especificación del tiempo de fraguado inicial y final (NTP 339.082/ASTM C403) y la aceptación de la resistencia a la compresión a 28 días según la Norma E.060, para un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en Juliaca, Macusani y Mazuco.

4.3.1 Cumplimiento normativo

a) Fraguado (consistencia entre repeticiones): diferencia máx. entre M1–M3 dentro de los límites definidos en la NTP 339.082 / ASTM C403.

Tabla 11. Cumplimiento normativo conforme a la Tabla 1A Precisión de un simple operador, Tiempo de fraguado inicial de la NTP 339.082.

Localidad	Fragua Inicial					
	M1	M2	M3	Diferencia entre mayor y menor tiempo (h:m:s)	Diferencia en minutos	Estado de cumplimiento (NTP 339.082 / ASTM C403 – límite ≤ 11.4 min con 3 ensayos)
Juliaca	05:39:54	05:46:13	05:44:17	00:06:19	6.00	Cumple
Macusani	09:37:29	09:35:11	09:32:39	00:04:50	4.00	Cumple
Mazuco	04:52:50	04:56:40	05:04:32	00:11:42	11.00	Cumple

Tabla 12. Cumplimiento normativo conforme a la tabla 1A Precisión de un simple operador, Tiempo de fraguado final de la NTP 339.082.

Localidad	Fragua Final					
	M1	M2	M3	Diferencia entre mayor y menor tiempo (h:m:s)	Diferencia en minutos	Estado de cumplimiento (NTP 339.082 / ASTM C403 – límite ≤ 12.5 min con 2 ensayos)
Juliaca	07:48:04	07:42:45	07:40:50	00:07:14	7.00	Cumple
Macusani	15:02:38	15:07:27	16:06:03	00:04:49	4.00	Cumple
Mazuco	06:59:32	07:25:28	07:26:36	00:01:08	1.00	Cumple

b) Compresión a 28 días (E.060): promedio de tres consecutivos $\geq f'c$ y ningún resultado $< f'c - 35$ kg/cm².

Tabla 13. Criterios de aceptación de la resistencia del concreto según la NTE E.060 (5.6.3.3 y 5.6.3.4)

Localidad	Fecha moldeo	Edad (días)	Muestra	Resultado 1 (kg/cm ²)	Resultado 2 (kg/cm ²)	Resultado 3 (kg/cm ²)	Ensayo (Promedio de Testigos 1,2 y 3) (kg/cm ²)	Promedio de 3 ensayos consecutivos (kg/cm ²)	Cumplimiento E.060-5.6.3.3	
									$\geq f'c$	$\geq (f'c - 35)$
Juliaca (3824 m.s.n.m.)	18/03/2024	28	1	283	258	271	271	-	-	✓
	18/03/2024	28	2	268	279	275	274	-	-	✓
Macusani (4315 m.s.n.m.)	21/03/2024	28	3	269	247	271	262	269	✓	✓
	21/03/2024	28	4	266	251	249	255	264	✓	✓
Mazuco (359 m.s.n.m.)	23/03/2024	28	5	267	271	253	264	260	✓	✓
	23/03/2024	28	6	256	277	262	265	261	✓	✓

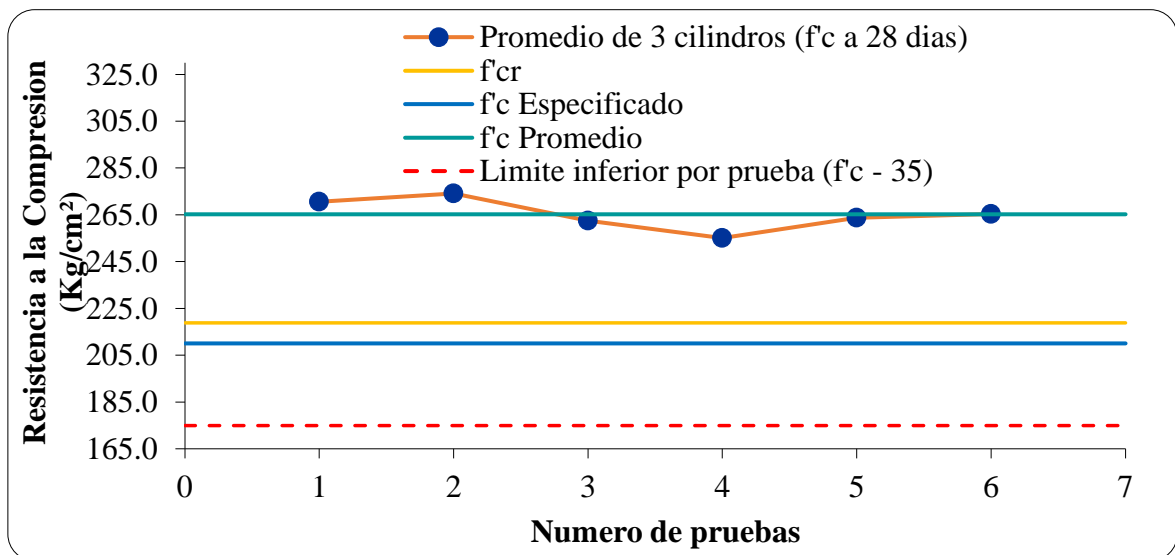


Figura 10. promedio de tres cilindros comparados con los criterios de aceptación de la NTE E.060.

4.3.2 Síntesis del objetivo específico 2

La NTP 339.082 no establece “tiempos mínimos o máximos” de aceptación para el fraguado inicial del concreto; define el procedimiento y las ventanas para programar la primera penetración según la temperatura del sitio: 3–4 h a 20–25 °C; 1–2 h si la temperatura es mayor; y 4–6 h si es menor, continuando con intervalos de 0,5–1 h hasta obtener una curva que enmarque 500 psi (fraguado inicial) y 4 000 psi (fraguado final), con al menos seis lecturas. En este estudio, las tres localidades siguieron ese esquema y los tiempos medidos fueron coherentes con el régimen térmico previsto por la norma: Mazuco (33,65 °C) presentó fraguado más temprano (fraguado inicial 04:58:01; fraguado final 07:17:12), Juliaca (22,33 °C) tuvo valores intermedios (fraguado inicial 05:43:11; fraguado final 07:44:22) y Macusani (11,70 °C) registró fraguado más tardío (fraguado inicial 09:35:06; fraguado final 15:25:23). Además, la precisión intralocalidad cumplió los límites de la Tabla 1A (operador único) y, a 28 días, las series satisficieron la aceptación de la NTE E.060. Por tanto, se verifica el objetivo específico 2: las determinaciones de fraguado realizadas in situ cumplen la NTP 339.082 y sus tiempos son consistentes con las recomendaciones procedimentales de la norma para las temperaturas observadas.

5. DISCUSIONES

1. Al determinar la influencia de la temperatura ambiental media en los tiempos de fraguado (inicial y final) del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Se observó una relación inversa y marcada: para fraguado inicial $\rho = -0.949$ ($p < 0.01$; $N=9$) y para fraguado final $\rho = -0.953$ ($p < 0.01$; $N = 9$). Por localidades, Mazuco (33-34 °C) registró los menores tiempos h:m:s (inicial 04:58:01; final 07:17:12), Juliaca (22-24 °C) valores intermedios (05:43:11; final 07:44:22) y Macusani (11-12 °C) los mayores (inicial 09:35:06 ; 15:25:23). La consistencia entre repeticiones se mantuvo dentro de los límites adoptados (≤ 11.4 min en inicial; ≤ 12.5 min en final). El incremento térmico acelera la hidratación temprana y acorta la ventana operativa de colocación y acabado; el descenso térmico la prolonga. En el rango 12-34 °C, la sensibilidad estimada fue 10-12 min/°C para el fraguado inicial y 20 min/°C para el fraguado final. Se acepta la hipótesis de influencia inversa de la temperatura sobre los tiempos de fraguado, Diversos estudios coinciden en que la temperatura ambiente influye marcadamente en el tiempo de fraguado del concreto de resistencia normal (210 kg/cm²) Según, *Niu et al.* (2021) encontraron en ensayos laboratorio y en campo que al elevar la temperatura del aire el concreto pierde trabajabilidad más rápido y su fraguado inicial ocurre en menos tiempo. De igual forma, *Pasquel Carbajal* –referente en tecnología del concreto– reporta que un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en clima cálido (24-28 °C) presenta un fraguado inicial alrededor de 4 horas (final =5,5 h), mientras que en invierno (17-18 °C) dichos tiempos se retrasan a 6 y 8 horas respectivamente. Esta tendencia concuerda con guías técnicas: por ejemplo, a 21 °C el concreto fragua en 6 horas, pero a 4 °C puede demorar unas 12 horas (Allen, 2025). En línea con ello, *Ramírez y Rodríguez* (2019) observaron que en condiciones frías el empleo de aditivos acelerantes contrarresta el retardo: con dosificaciones de hasta 5% de acelerante lograron reducir el tiempo de fraguado inicial de 4 horas a 3,2 horas. En conjunto, la evidencia confirma que una mayor temperatura ambiental acelera el fraguado del concreto (y viceversa), en correspondencia con la cinética de hidratación del cemento reportada en la literatura. Conocer el tiempo de fraguado a la temperatura real del sitio,

determinada por su altitud (msnm) es clave para evitar juntas frías cuando el vaciado no es continuo; en tiempo caluroso, el aumento de T° acelera la hidratación, reduce la ventana de colocación y favorece la generación de juntas frías si se prolongan las pausas (Saidi et al., 2022), mientras que en zonas frías/altas la ventana se prolonga, pero exige protección y programación cuidadosa. Además, aunque se toma como referencia la resistencia de penetración 3,5 MPa para el límite operacional entre capas, se ha documentado la aparición de juntas frías desde 0,5 MPa o 0,5 h tras el primer vaciado, por lo que resulta prudente programar el reanudado antes del fraguado inicial determinado por ASTM C403 y aplicar márgenes de seguridad (Mohammed Jassam et al., 2023). Ángulo crítico de junta fría en consecuencia, la medición in situ con NTP 339.082/ASTM C403 permite definir una ventana libre de junta fría específica por localidad como se observa en (Macusani 4315 msnm con mayor ventana; Juliaca 3824 msnm intermedia; Mazuco 359 msnm menor), de modo que se ajusten intervalos de despacho, rondas de vibrado/acabado y si corresponde, el uso de retardantes/acelerantes finalmente, mantener la temperatura de colocación $\leq 32^\circ\text{C}$ y evitar añadir agua para “recuperar” asentamiento son prácticas alineadas con la norma E.060/ASTM C94/ACI 305.1 y con la evidencia de cumplimiento de $f'c$ a 28 días. En climas cálidos (Mazuco) se requiere planificar ciclos de transporte más cortos, coordinar frentes y, de ser necesario, usar retardadores o preenfriamiento; en climas fríos (Macusani) conviene proteger el elemento y prolongar el curado. Medir y gestionar la temperatura del concreto (no solo la ambiental) por ejemplo, con la ecuación de ACI 306R o el método de madurez— permitirá prever con mayor precisión el ritmo de fraguado y ajustar la programación de obra.

2. Al evaluar la relación entre la temperatura ambiental media del día de vaciado y la resistencia a compresión a 7 y 28 días, no se encontró asociación estadísticamente significativa a 7 días $\rho = 0.580$ ($p = 0.102$; $N = 9$) y a 28 días $\rho = 0.210$ ($p = 0.403$; $N = 18$). La resistencia especialmente a 28 días— está más condicionada por la historia térmica de curado, la relación a/c , el tipo de cemento y, en este estudio, por el aire incorporado en Macusani (condición de sitio) que por la temperatura ambiental media del día de vaciado. Pese a las diferencias climáticas, la variabilidad de $fc7$ y $fc28$ no se explica por la temperatura ambiente. Con base a lo anterior no se rechaza la hipótesis nula: con los datos disponibles, la temperatura del día de vaciado no explica la variación de $fc7$ ni $fc28$. En nuestro estudio las briquetas se curaron en cada localidad con inmersión en agua in situ, expuestas a las condiciones ambientales propias y sin control de la temperatura del agua de curado; aun así, a los 28 días todas cumplieron la E.060 (promedio de tres consecutivos $\geq f'c$ y ningún resultado $< f'c - 35$), lo que confirma la aceptación normativa de la resistencia especificada (210 kg/cm^2). Ahora bien, aunque la temperatura del día de vaciado no mostró correlación significativa con $f'c$ a 7 ni 28 días en nuestros datos, esto es coherente con la literatura: la resistencia depende sobre todo de la historia temperatura–tiempo de la masa (método de madurez), no de un valor puntual de T° ambiente (NRMCA CIP-39; Akasaki et al.) En la práctica de obra, un estudio con datos reales en Nevada observó que, con buen control (sin añadir agua y con curado adecuado), la $f'c$ a 7 y 28 días se mantuvo estable frente a variaciones de la T° del aire y del concreto fresco, apoyando que la T° del “día de vaciado” por sí sola no predice la resistencia final (Saidi et al., 2022). Respecto al curado ambiental, comparaciones en clima cálido-subhúmedo muestran que el curado húmedo suele dar mayor $f'c$ que el curado al ambiente a 28 días; sin embargo, en

regiones húmedas es posible alcanzar resistencias adecuadas sólo con curado “natural” si las condiciones ambientales son favorables y la calidad de obra es buena (Solís-Carcaño et al., 2011; 2013). Además, evidencias recientes indican que el curado inicial fuera del rango 16–27 °C puede modificar la $f'c$ a 28 días (–6,4 % si > 27 °C y +6,2 % si < 16 °C para concretos < 40 MPa), lo que refuerza que lo decisivo es la temperatura de la masa durante las primeras horas y no sólo la T° ambiente del día (Sánchez Rivera & Alfaro Solano, 2025). Por último, estudios de pavimentos subrayan que controlar la temperatura del concreto en las primeras 24–72 h es crítico para el desempeño posterior, especialmente en tiempo caluroso (Schindler & McCullough, 2002). En consecuencia, nuestros resultados curado local ambiental/agua sin control térmico y cumplimiento de $f'c$ a 28 días son compatibles con la evidencia: la madurez y el régimen de curado gobiernan la resistencia; por ello, la T° ambiental del día de vaciado es un predictor débil si no se registra la evolución térmica del elemento y se aplican medidas de control temprano del curado.

3. En obra se midió el fraguado con NTP 339.082/ASTM C403 y se observó una relación inversa muy alta con la temperatura del día de vaciado ($\rho = -0.949$ para el fraguado inicial y $\rho = -0.953$ para el final; $p < 0.01$), de modo que Mazuco (33–34 °C) fragua antes, Juliaca (22–24 °C) presenta valores intermedios y Macusani (11–12 °C) fragua después; además, la repetibilidad del ensayo quedó dentro de la precisión del método (inicial: diferencias M1–M3 ≤ 6 y 5 min en Juliaca y Macusani; final: 7, 4 y 1 min en Juliaca, Macusani y Mazuco frente a límites de 11.4 y 12.5 min), por lo que “Cumple” en las tres localidades. Asimismo, a 28 días todas las series cumplieron la NTE E.060 (promedios $\geq f'c$ e individuales $\geq f'c - 35$), por consiguiente, la temperatura del día no impidió la aceptación estructural. Ahora bien, esto coincide con la literatura: más temperatura implica menos tiempo de fraguado y el viento puede acortarlo aún más (Liu et al., 2021); en tiempo caluroso se recomienda acortar pausas, adelantar el acabado y curar de inmediato para evitar juntas frías (ACI Comité 305, 2020; NRMCA, 2021); mientras que la $f'c$ a 28 días depende principalmente de la historia temperatura–tiempo de la masa (madurez) y del curado inicial, con mejor desempeño cuando el curado temprano se mantiene en el rango 16–27 °C (Sánchez Rivera y Alfaro Solano, 2025). Por ello, la gestión práctica se enfoca en definir con las curvas C403 locales la ventana máxima entre tandas para evitar junta fría, ajustar el intervalo entre camiones mixer y el acabado, proteger el elemento según el clima (sombra/curado inmediato en calor; mantas o carpas térmicas en frío) y cuando sea posible, registrar la madurez del concreto durante las primeras 0–48 horas para anticipar la resistencia y decidir en obra.

6. CONCLUSIONES

1. La temperatura ambiental media influye inversa y marcadamente en los tiempos de fraguado del concreto $f'c = 210$ kg/cm²: Spearman mostró correlaciones muy altas y negativas para el fraguado inicial ($\rho = -0.949$; $p < 0.01$; $N = 9$) y el fraguado final ($\rho = -0.953$; $p < 0.01$; $N = 9$). Por localidades, Mazuco (33–34 °C) tuvo los menores tiempos hh:mm:ss (inicial 04:58:01 ; final 07:17:12), Juliaca (22–24 °C) valores intermedios (inicial 05:43:11; final 07:44:22) y Macusani (11–12 °C) los mayores (inicial 09:35:06; final 15:25:23). La consistencia entre réplicas permaneció dentro de los límites del método (≤ 11.4 min en inicial; ≤ 12.5 min en final).

2. No se evidenció asociación estadísticamente significativa entre la temperatura del día de vaciado y la resistencia a la compresión. A 7 días: $\rho = 0.580$; $p = 0.102$; $N = 9$ (tendencia positiva no concluyente). A 28 días: $\rho = 0.210$; $p = 0.403$; $N = 18$ (sin asociación). En el rango térmico estudiado, la temperatura no explica la variabilidad observada de la resistencia a la compresión a 7 ni a 28 días.
3. Se verificó el cumplimiento normativo tanto en fraguado (NTP 339.082/ASTM C403), con diferencias entre M1–M3 dentro de los umbrales de precisión en todas las localidades, como en la aceptación a 28 días (Norma E.060), donde los tres ensayos consecutivos cumplieron simultáneamente con promedio $\geq f'c$ y ningún resultado $< f'c - 35 \text{ kg/cm}^2$. En consecuencia, no se observó un efecto adverso de la temperatura sobre el cumplimiento de especificaciones en el rango evaluado (12 °C a 34 °C); operativamente, en climas cálidos se acorta la ventana de colocación por el aceleramiento del fraguado y en climas fríos se prolonga, sin comprometer el cumplimiento a 28 días en este estudio.

7. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por guiarnos y fortalecernos en cada etapa de esta investigación. A nuestros padres, por su apoyo incondicional, sus consejos y los sacrificios que hicieron posible nuestra formación. Valoramos también nuestro propio esfuerzo y dedicación, que fueron fundamentales para la culminación de este trabajo. Finalmente, expresamos nuestro agradecimiento a la Universidad, por brindar una educación basada en valores cristianos que fomenta nuestro crecimiento profesional y personal

8. REFERENCIAS

- ACI Committee 305. (2010), *Guide to Hot Weather Concreting (ACI 305R-10)*. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI. <https://www.concrete.org/portals/0/files/pdf/previews/305r-10web.pdf>
- American Concrete Institute. (1991). ACI 211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete. Farmington Hills, MI.
- Liu, W.-J.; Niu, X.-J.; Yang, N.; Tan, Y.-S.; Qiao, Y.; Liu, C.-F.; Wu, K.; Li, Q.-B.; Hu, Y. (2021), “Prediction Model of Concrete Initial Setting Time Based on Stepwise Regression Analysis”. *Materials* 14(12):3201. <https://doi.org/10.3390/ma14123201>
- Norma Técnica Peruana. (2009). NTP 339.035: Concreto. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland (Tercera edición). Lima.
- Norma Técnica Peruana. (2011). NTP 400.017: Agregados. Determinación de la masa por unidad de volumen o densidad (“peso unitario”) y vacíos en los agregados (Tercera edición). Lima.
- Norma Técnica Peruana. (2013). NTP 400.012: Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global (Tercera edición). Lima.
- Norma Técnica Peruana. (2013). NTP 400.022: Agregados. Peso específico y absorción del agregado fino (Tercera edición). Lima.

- Norma Técnica Peruana. (2015). NTP 339.034: Concreto. Resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas (Cuarta edición). Lima.
- Norma Técnica Peruana. (2017). NTP 339.036: Concreto. Muestreo de mezclas de concreto fresco (Cuarta edición). Lima.
- Norma Técnica Peruana. (2017). NTP 339.082: Concreto. Determinación del tiempo de fraguado del concreto por resistencia a la penetración (Cuarta edición). Lima.
- Norma Técnica Peruana. (2018). NTP 400.021: Agregados. Densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso (Tercera edición). Lima.
- Norma Técnica Peruana. (2018). NTP 400.037: Agregados para concreto. Requisitos (Cuarta edición). Lima.
- Norma Técnica Peruana. (2021). NTP 333.184: Concreto. Temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado (Tercera edición). Lima.
- Norma Técnica Peruana. (2021). NTP 339.033: Concreto. Elaboración y curado de especímenes de concreto en campo (Quinta edición). Lima.
- Norma Técnica Peruana. (2021). NTP 339.185: Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado (Tercera edición). Lima.
- Piyasena, R. R. C., Premerathne, P. A. T. S., Perera, B. T. D., & Nanayakkara, S. M. A. (2013). Evaluation of initial setting time of fresh concrete. National Engineering Conference 2013, 19th ERU Symposium, Faculty of Engineering, University of Moratuwa, Sri Lanka, 47–52.
- Piyasena, R.R.C.; Premerathne, P.A.T.S.; Perera, B.T.D.; Nanayakkara, S.M.A. (2013), “Evaluation of Initial Setting Time of Fresh Concrete”. National Engineering Conference 2013, 19th ERU Symposium, University of Moratuwa, Sri Lanka. <https://uom.lk/sites/default/files/eru/files/eru201309.pdf>
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (s.f.). Norma Técnica E.060: Concreto armado. Lima.
- Saidi, I.; Vakili, A.; Williams, K.; Panthi, K.; Sagian, F.; et al. (2022), “Assessment of Quality of Fresh Concrete Delivered at Construction Sites in Southern Nevada”. *Buildings* 12(5):521. <https://doi.org/10.3390/buildings12050521>
- Sánchez Rivera, J.; Alfaro Solano, M. (2025), “Efecto del curado a 16–27 °C durante 28 días en la resistencia del concreto”. *Ingeniería de Construcción (SciELO-Chile)*. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-907
- Schindler, A.K.; McCullough, B.F. (2002), “The importance of concrete temperature control during concrete pavement construction in hot weather conditions”. *Transportation Research Record* 1813: 3–10.
- Solís-Carcaño, R.; López-Cajún, C.; Martínez-Molina, W.; et al. (2013), “Evaluación de la resistencia a compresión de concretos curados en diferentes ambientes”. *Ingeniería (México)* 17(1). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-529X2013000100004

Solís-Carcaño, R.; Moreno, E.; Domínguez, A.; et al. (2011), “Diferencias en la resistencia de concretos sujetos a curados húmedo y natural en clima cálido subhúmedo”. *Ingeniería* (México).

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432011000100004.

UTN FR Concordia – Tecnología del Hormigón. (2019), Apuntes/diapositivas de cátedra (incluye referencia a “Gabalec, 2008 – Tiempo de fraguado del hormigón”). <https://frcon.utn.edu.ar/.../Tecnolog%C3%ADa-del-Hormig%C3%B3n-2019.pdf>.

Zeña, M. (2015), Estudio termodinámico teórico-práctico del comportamiento del concreto en climas extremos. Tesis de Maestría, PUCP. URL (ficha): <https://www.pagofacial.com/intranet/portal/unidad/ver/articulo/ver?id=1495>

9. ANEXOS

9.1 Evidencia de sumisión de artículo.



Revista Alconpat <editorial@revistaalconpat.org>

Para: EBERTH DAVID LARICO LARICO <heberthlaarico@upeu.edu.pe>; **y 2 más**



Vie 10/10/2025 04:55 AM

Hello,

Yesenia Apaza Pinto has submitted the manuscript, "Influencia de la temperatura ambiente y los tiempos de fraguado en la resistencia a la compresión del concreto $f_c=210$ kg/cm² en tres zonas climáticas del sur del Perú" to Revista ALCONPAT.

If you have any questions, please contact me. Thank you for considering this journal as a venue for your work.

Revista Alconpat

Mensaje Automático
Revista ALCONPAT,
eISSN 2007-6835 Site Web: www.revistaalconpat.org

9.2 Copia de Resolución de perfil de proyecto de tesis en formato artículo.



“AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO”

RESOLUCIÓN N° 0975-2023/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Naña 12 de diciembre de 2023

VISTO:

El expediente de **Robert Merino Cardenas**, identificado(a) con Código Universitario N° 201610671 y **Eberth David Larico Larico**, identificado(a) con Código Universitario N° 201620180, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Robert Merino Cardenas** y **Eberth David Larico Larico**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Influencia de la temperatura y fraguado inicial en un concreto $f_c=210\text{Kg/cm}^2$ en las localidades de Mazuco, Juliaca y Macusani, 2023" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 12 de diciembre de 2023, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "**Influencia de la temperatura y fraguado inicial en un concreto $f_c=210\text{Kg/cm}^2$ en las localidades de Mazuco, Juliaca y Macusani, 2023**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar a **Mg. Moises Araca Chile** como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **Mg. Henry Antonio Aguilar Chuquimia** y **Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticona**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.




Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA




Mg. Ketty Magaly Arellano Lino
SECRETARIA ACADÉMICA

cc:
-Interesado
-Asesor
-Dirección General de Investigación
-Archivo

9.3 Panel Fotografico.



EN LA IMAGEN SE OBSERVA EL REGISTRO DE TEMPERATURA EN LA LOCALIDAD DE JULIACA A HORAS 10:17:00 a. m.



EN LA IMAGEN SE OBSERVA EL REGISTRO DE TEMPERATURA EN LA LOCALIDAD DE JULIACA A HORAS 10:43:00 a. m.



EN LA IMAGEN SE OBSERVA EL REGISTRO DE TEMPERATURA EN LA LOCALIDAD DE MACUSANI A HORAS 09:38:00 a. m.



EN LA IMAGEN SE OBSERVA EL REGISTRO DE TEMPERATURA EN LA LOCALIDAD DE MACUSANI A HORAS 03:56:00 p. m.



EN LA IMAGEN SE OBSERVA EL REGISTRO DE TEMPERATURA EN LA LOCALIDAD DE MAZUCO A HORAS 11:15:00 a. m.



EN LA IMAGEN SE OBSERVA EL REGISTRO DE TEMPERATURA EN LA LOCALIDAD DE MAZUCO A HORAS 11:21:00 a. m.