

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



**Evaluación de la influencia de la temperatura en las
propiedades del concreto Fast-Track para pavimentos rígidos
en zonas altiplánicas**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Ferrer Abel Mamani Calsin Giovanni
Cristhofer Velazco Onofre

Asesor:

Dr. Edwin Parillo Escarsena

Juliaca, junio de 2026

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo, Edwin Parillo Escarsena, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **"Evaluación de la influencia de la temperatura en las propiedades del concreto Fast-Track para pavimentos rígidos en zonas altiplánicas."** de los autores; Ferrer Abel Mamani Calsin y Giovanni Cristhofer Velazco Onofre, tiene un índice de similitud de 19 % 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 13 días del mes de julio del año 2026.



Dr. Edwin Parillo Escarsena

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 24 día(s) del mes de junio del año 2020
 las 9:20 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del
 (de la) presidente(a):

Mtro. Leonel Chahuaran Paucari

el (la) secretario(a): Mtro. Herson Duberly

Pari Gusi

y los demás miembros: Mtro. Xily Lea Gonzales

y el (la) asesor(a) Dr. Edwin Parillo Escarema

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:

*Evaluación de la influencia de la temperatura en las propiedades del concreto
 Fast-Track para pavimentos rígidos en zonas altiplánicas*

del(los) bachiller(es): a) Ferrer Abel Mamani Gabin

b) Giovanni Cristhofer Velasco Onofre

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): Ferrer Abel Mamani Gabin

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literar	Cualitativa	
Aprobado	15	B-	Buena	Muy Buena

Bachiller (b): Giovanni Cristhofer Velasco Onofre

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literar	Cualitativa	
Aprobado	15	B-	Buena	Muy Buena

Bachiller (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literar	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.


 Presidente/a

 Asesor/a

 Bachiller (a)


 Miembro

 Bachiller (b)


 Secretario/a

 Miembro

 Bachiller (c)

Evaluación de la influencia de la temperatura en las propiedades del concreto Fast-Track para pavimentos rígidos en zonas altiplánicas

●Giovanni Cristhofer Velazco-Onofre¹, ●Ferrer Abel Mamani-Calsin², ●Edwin Parillo-Escarsena³

^{1,2,3} Universidad Peruana Unión, Juliaca – Perú

ORCID ¹giovanni.velazco@upeu.edu.pe, ²ferrer.mamani@upeu.edu.pe, ³edwin.parillo@upeu.edu.pe

Recibido: Fecha de recepción (diligenciado por el Editor).

Aprobado: Fecha de aprobación del artículo (diligenciado por el Editor).

Resumen— El desarrollo de infraestructura vial en zonas altiplánicas enfrenta el desafío de condiciones térmicas extremas que afectan las propiedades físicas, mecánicas y durabilidad del concreto. Esta problemática se acentúa en proyectos donde se requiere habilitación rápida del pavimento, como es el caso del concreto Fast-Track, cuya resistencia temprana puede verse comprometida por la temperatura ambiental debido al fraguado rápido que presenta a causa del uso de aditivos. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el impacto de la temperatura del agua de mezclado (3°C, 20°C, 40°C y 60°C) en las propiedades físico-mecánicas del concreto Fast-Track, con énfasis en resistencia a compresión y flexión, contenido de aire, trabajabilidad y tiempo de fraguado. Se aplicó un diseño experimental con enfoque cuantitativo, empleando normas ASTM y NTP para la caracterización del concreto fresco y endurecido. Se determinó que las altas temperaturas aceleran la hidratación del cemento, mejorando la resistencia a edades tempranas, pero reduciendo la trabajabilidad. Los especímenes mezclados con agua a 40 °C y 60 °C superaron el 80 % de la resistencia de diseño al primer día, siendo adecuados para una rápida habilitación vial. El espécimen a 40 °C fue el más eficiente, al ofrecer un equilibrio entre resistencia y manejabilidad. Asimismo, se identificaron diferencias estadísticamente significativas en todos los parámetros evaluados, lo que resalta la necesidad de controlar la temperatura en obra para garantizar el desempeño del concreto Fast-Track en climas extremos.

Palabras Claves: Concreto fast.track, pavimentos rígidos, resistencia temprana, temperatura, zonas altiplánicas.

Abstract— The development of road infrastructure in high-altitude regions faces the challenge of extreme thermal conditions that affect the physical, mechanical properties, and durability of concrete. This issue is accentuated in projects requiring rapid pavement commissioning, such as Fast-Track concrete, whose early-age strength can be compromised by ambient temperature due to its rapid setting caused by the use of admixtures. This study aimed to evaluate the impact of mixing water temperature (3°C, 20°C, 40°C, and 60°C) on the physico-mechanical properties of Fast-Track concrete, with an emphasis on compressive and flexural strength, air content, workability, and setting time. An experimental design with a quantitative approach was applied, using ASTM and NTP standards for the characterization of fresh and hardened concrete. It was determined that high temperatures accelerate cement hydration, improving early-age strength but reducing workability. Specimens mixed with water at 40°C and 60°C exceeded 80% of the design strength on the first day, making them suitable for rapid pavement opening. The 40°C specimen proved to be the most efficient, offering a balance between strength and workability. Likewise, statistically significant differences were identified across all evaluated parameters, highlighting the need for on-site temperature control to ensure the performance of Fast-Track concrete under extreme climates.

Keywords: Fast-Track concrete, rigid pavements, early strength, temperature, high-altitude regions.

I. INTRODUCCIÓN

El concreto es un material compuesto por agregados finos y gruesos mezclados con cemento y agua, es el más usado en la construcción en el mundo por su versatilidad, resistencia y durabilidad, su desempeño estructural se optimiza mediante dosificación precisa, aditivos y refuerzos, cumpliendo normativas internacionales. El concreto convencional presenta limitaciones en proyectos viales donde el tiempo de habilitación es crítico, especialmente en zonas urbanas con alta demanda de movilidad debido a la demora de ganancia de resistencia, retrasa la apertura al tráfico, generando impactos sociales y económicos. La implementación de concretos fast-track es una solución técnicamente viable para proyectos viales urgentes, equilibrando rapidez, desempeño estructural y sostenibilidad [1].

El altiplano presenta climas fríos y secos, con grandes amplitudes térmicas diarias y fuerte radiación solar [1]. La resistencia del concreto a los ciclos de congelación-descongelación está influenciada por un conjunto de parámetros intrínsecos y extrínsecos. Entre los factores internos destacan la composición de la mezcla (selección de materiales y proporciones), mientras que los externos abarcan las condiciones ambientales de exposición. Particularmente, la relación agua/cemento (a/c) emerge como un factor crítico, ya que su optimización incide directamente en la capacidad de la matriz cementicia para soportar tensiones generadas por la expansión del agua durante la congelación [2], [3], [4].

La microestructura interna del concreto constituye un factor determinante en sus propiedades mecánicas y de durabilidad. Una elevada porosidad en la matriz cementicia compromete significativamente su compacidad, reduciendo tanto su capacidad de carga como su desempeño frente a sollicitaciones térmicas cíclicas [5]. El curado del concreto en condiciones de congelación retarda la hidratación del cemento, induciendo tensiones expansivas por formación de hielo que deterioran la microestructura generando microfisuras, lo que reduce significativamente su durabilidad y capacidad resistente.

H. Li et al. [6] aplicaron diversas relaciones de temperatura de 20 °C a -120 °C. Los resultados evidencian que el descenso térmico ambiental influye notablemente en el incremento de la carga máxima admisible por el material, así como en su rigidez inicial. Sin embargo, este fenómeno también conlleva una reducción en la deformación máxima alcanzada antes de la falla, así como en la ductilidad general del concreto, limitando su capacidad para absorber deformaciones plásticas sin pérdida de resistencia. La resistencia del concreto frente a cambios bruscos de temperatura también está influenciada por factores relacionados con los agregados, tales como su tipo, contenido volumétrico y nivel de saturación.

La temperatura del agua de mezclado es uno de los factores más manejables en obra para modular la temperatura del concreto fresco y, con ello, la velocidad de hidratación del cemento. Un incremento de 10 °C en la temperatura duplica aproximadamente la velocidad de las reacciones de hidratación, acelerando tanto la ganancia de resistencia como el fraguado. Sin embargo, temperaturas de mezclado excesivamente elevadas pueden comprometer la trabajabilidad, incrementar el contenido de aire ocluido y reducir la resistencia a largo plazo por la formación de una estructura de gel de C-S-H menos densa [7].

Diversos estudios han examinado el efecto de la temperatura sobre las propiedades del concreto convencional y, en menor medida, sobre el concreto de alta resistencia inicial (Fast-Track), según lo señalado en [8]. No obstante, la literatura carece de investigaciones que combinen sistemáticamente las condiciones climáticas específicas del altiplano andino (baja temperatura ambiente, alta radiación UV, reducida presión barométrica) con el uso de formulaciones Fast-Track de dosificación optimizada. Esta brecha de conocimiento es relevante porque las condiciones del altiplano no son equivalentes a las de las zonas de clima frío templado estudiadas en la literatura disponible: la menor presión parcial de vapor de agua y la alta radiación solar pueden modificar las tasas de evaporación y los gradientes térmicos en el concreto de manera diferente a lo reportado en latitudes menores.

El presente estudio plantea como hipótesis general que la influencia de las temperaturas en el concreto provocará un cambio drástico durante el proceso de fraguado rápido del concreto fast-track. Específicamente, se propone que: (1) la resistencia a compresión y flexión variarán significativamente según la temperatura; (2) la temperatura modificará la cantidad de vacíos en el material; (3) el incremento térmico afectará la trabajabilidad durante el vaciado; y (4) los tiempos de fraguado inicial y final sufrirán variaciones notables ante distintas condiciones térmicas. Para comprobar estas hipótesis, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el impacto de la temperatura del agua de mezclado (3°C, 20°C, 40°C y 60°C) en las propiedades físico-mecánicas del concreto Fast-Track. Los objetivos específicos incluyen: (1) analizar el comportamiento de las condiciones térmicas en las resistencias a compresión y flexión; (2) determinar su influencia en la porosidad del material; (3) estudiar la trabajabilidad durante el vaciado y extendido; y (4) evaluar las variaciones en los tiempos de fraguado. Los resultados permitirán optimizar el diseño de pavimentos rígidos en regiones con amplias fluctuaciones térmicas.

II. MARCO TEÓRICO

a. Concreto fast-track

El concreto de cemento Portland se ha consolidado como uno de los insumos constructivos más utilizados en ingeniería civil, siendo ampliamente utilizado en proyectos de pavimentación, aeropuertos y vías urbanas. Sin embargo, muchos pavimentos construidos en el pasado no fueron diseñados para soportar el actual volumen de tráfico y la creciente carga de vehículos pesados. Al carecer de mantenimiento adecuado, estas estructuras han alcanzado o superado su vida útil, requiriendo intervenciones costosas que generan prolongadas interrupciones del tráfico, especialmente en zonas de alta congestión [9].

Para reducir el impacto en la circulación vial, se han implementado tecnologías innovadoras que optimizan la rehabilitación de pavimentos. Entre estas destaca el concreto de fraguado acelerado, el cual emplea cemento Tipo I en mayores proporciones o cemento Tipo III (alta resistencia

inicial) para lograr resistencias adecuadas en menos de 12 horas, permitiendo una reapertura expedita de la vía. Esta solución combina ajustes en la matriz cementicia con diseños específicos, minimizando costos y tiempos de interrupción en zonas críticas [10].

El concreto Fast-Track sobresale entre otras alternativas para la habilitación o el mantenimiento de pavimentos rígidos en zonas altiplánicas. Si bien en el Perú existe una mayor preferencia por el pavimento flexible debido a su rápido proceso constructivo y menor costo, en las zonas donde se requiere mayor soporte frente al peso de los vehículos pesados, el pavimento rígido es el dominante.

b. Pavimentos rígidos

Los pavimentos rígidos, denominados así por la elevada rigidez de su losa de concreto, distribuyen eficientemente las cargas vehiculares, absorbiendo la mayor parte de los esfuerzos y transmitiendo una mínima tensión a las capas inferiores y la subrasante. En el contexto peruano, los pavimentos de concreto con juntas representan la solución óptima debido a su desempeño comprobado y su adaptabilidad a los períodos de diseño empleados en la región [11].

El concreto fast-track destaca en pavimentos rígidos por su habilitación temprana, permitiendo la apertura al tránsito en plazos significativamente reducidos en comparación con concretos convencionales, lo que es crucial en zonas altiplánicas donde las condiciones climáticas exigen rapidez en la ejecución. Además, su alta resistencia inicial mejora la durabilidad ante cargas vehiculares, mientras que su bajo contenido de vacíos y optimizada trabajabilidad aseguran un mejor desempeño frente a variaciones térmicas, aspecto clave en el estudio. Estos atributos lo convierten en una solución eficiente para proyectos viales que requieren resistencia acelerada y adaptabilidad a entornos con fluctuaciones extremas de temperatura, como las analizadas en esta investigación.

c. Cinética de hidratación del cemento y efecto térmico

La cinética de hidratación del cemento Portland explica la rapidez y el grado con que sus componentes reaccionan con el agua, determinando la formación de la microestructura y la cantidad de calor liberado con el tiempo. Esta reacción es exotérmica, es decir, produce calor, lo que puede aumentar la temperatura del concreto. En elementos masivos, este incremento térmico puede generar fisuración y afectar la resistencia mecánica. Estudios basados en calorimetría isotérmica y modelos termo-cinéticos indican que la hidratación ocurre en etapas definidas: disolución inicial, periodo de inducción, aceleración, desaceleración y fase lenta. El calor liberado en cada etapa está directamente relacionado con la formación de productos hidratados como el C-S-H y el Ca(OH)_2 [12], [13].

III. METODOLOGÍA O PROCEDIMIENTOS

a. Tipo y diseño de investigación

La investigación es de tipo aplicada con enfoque cuantitativo y diseño experimental puro [14]. La variable independiente es la temperatura del agua de mezclado (con cuatro niveles: 3 °C, 20 °C, 40 °C y 60 °C), y las variables dependientes son las propiedades físico-mecánicas del concreto Fast-Track: resistencia a compresión y flexión, contenido de aire, trabajabilidad y tiempos de fraguado. El grupo E-2 (20 °C) actúa como control de referencia (temperatura estándar de laboratorio), mientras que E-1 (3 °C) simula condiciones de baja temperatura nocturna, E-3 (40 °C) condiciones diurnas cálidas y E-4 (60 °C) el límite superior de aceleración térmica posible. Se garantizó la aleatoriedad en la asignación de especímenes a cada grupo y se controlaron todas las demás variables (relación a/c, dosificación de aditivos, proceso de mezclado y condiciones de curado) para aislar el efecto de la temperatura del agua.

b. Materiales

Los materiales empleados fueron seleccionados en función de su disponibilidad en el mercado y su pertinencia técnica para aplicaciones Fast-Track. Se utilizó cemento Yura Pro Tipo HE 42.5 (Alta Resistencia Inicial), cuya composición cumple con la NTP 334.082 y la ASTM C1157. Este cemento se caracteriza por una finura de molienda superior (Blaine > 420 m²/kg), un elevado contenido de C₃S (> 62%) y una resistencia a compresión a 1 día superior a 12 MPa, propiedades que lo hacen ideal para aplicaciones Fast-Track. El aditivo acelerante SikaRapid®-3 PE se dosificó al 4% en masa de cemento (límite máximo recomendado por el fabricante), valor justificado por el objetivo de maximizar la resistencia temprana y confirmado mediante pruebas piloto preliminares en el laboratorio. El plastificante SikaCem® se dosificó al 1.18% para reducir la demanda de agua en un 10–15% sin afectar la consistencia [15]. Los agregados proceden de la cantera Yocara y fueron caracterizados según las normas ASTM C136, C127, C128 y C566 (Tabla I).

TABLA I
DATOS DE MATERIALES

Propiedad	Agregado fino	Agregado grueso	Normativa
Módulo de fineza	2.85	7.39	NTP 400.012 / ASTM D-422
Peso unitario suelto	1456.84 kg/m ³	1373.13 kg/m ³	NTP 400.017 / ASTM C-29
Peso unitario compactado	1599.43 kg/m ³	1538.85 kg/m ³	NTP 400.017 / ASTM C-29
Peso específico	2.31 g/m ³	2.45 g/m ³	NTP 400.021 / NTP 400.022
% de absorción	1.94 %	1.81 %	NTP 400.021 / NTP 400.022
Tamaño máximo nominal		3/4"	NTP 400.012 / ASTM D-422
Contenido de humedad	7.81 %	1.71 %	NTP 339.127 / ASTM D2216

c. Diseño de mezcla

Para el procesamiento del concreto Fast-Track, se desarrolló el diseño de mezcla conforme a las directrices del método ACI 211.1, el cual es ampliamente utilizado para establecer la proporción adecuada de los materiales del concreto con base en la resistencia especificada. Este procedimiento se basó en los datos obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio aplicados a los agregados, entre ellos el análisis granulométrico, la determinación del peso específico, la absorción y el contenido de humedad. Estos resultados permitieron caracterizar correctamente los materiales e introducir los ajustes correspondientes en la proporción de la mezcla. A partir de esta información, se determinaron las proporciones precisas de cada componente para la producción de 1 m³ de concreto, teniendo como objetivo alcanzar una resistencia a compresión de diseño de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Con el propósito de optimizar las propiedades del concreto Fast-Track, se adoptó una relación agua/cemento de 0.39, valor que fue seleccionado en función de la incorporación de un aditivo reductor de agua de alto rango. Este aditivo permite disminuir la cantidad de agua de la mezcla sin afectar su trabajabilidad, lo que contribuye a mejorar significativamente el desempeño de resistencia a edades tempranas. La elección de esta relación A/C y el uso de aditivos buscan cumplir con los requisitos fundamentales del concreto Fast-Track, que son alcanzar altas resistencias iniciales en el menor tiempo posible y permitir la pronta habilitación de las estructuras o pavimentos.

TABLA II
DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO FAST-TRACK PARA 1M3

Componente	Cantidad (kg/m ³)	Relacion a/c	% en masa
Cemento Yura Pro HE 42.5 (kg/m ³)	410	—	—
Agregado grueso (kg/m ³)	970.4	—	—
Agregado fino (kg/m ³)	707.447	—	—
Agua (lt/m ³)	136.69	0.33	—
SikaRapid®-3 PE Acelerante (lt/m ³)	16.4	—	4.0%
SikaCem® Plastificante (lt/m ³)	4.82	—	1.18%

d. Control y medición de temperatura

Para cada grupo experimental, el agua de mezclado fue acondicionada a la temperatura objetivo con precisión de $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$, calibrado antes de cada sesión experimental. Las temperaturas fueron seleccionadas para representar condiciones climáticas reales del altiplano: 3 $^\circ\text{C}$ representa el uso de agua de red en madrugadas invernales o agua pre-enfriada con hielo; 20 $^\circ\text{C}$ es la temperatura de referencia de laboratorio; 40 $^\circ\text{C}$ simula condiciones diurnas con precalentamiento controlado; y 60 $^\circ\text{C}$ representa el límite superior de aceleración térmica, de interés para evaluar el riesgo de pérdida de trabajabilidad. La temperatura real del concreto fresco fue medida inmediatamente después de completar el mezclado y antes de iniciar cada ensayo, conforme a ASTM C1064, con termómetro de punción digital (precisión $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$).

TABLA III
TEMPERATURA DEL AGUA MEZCLADO Y TEMPERATURA REAL MEDIDA DEL CONCRETO FRESCO (ASTM C1064)

N° de espécimen	T° agua ($^\circ\text{C}$)	T° concreto fresco ($^\circ\text{C}$)	Diferencia ($^\circ\text{C}$)
E-1	3	11.25 ± 0.75	8.25
E-2	20	16.00 ± 1.00	4
E-3	40	20.00 ± 1.25	20
E-4	60	24.00 ± 1.00	36

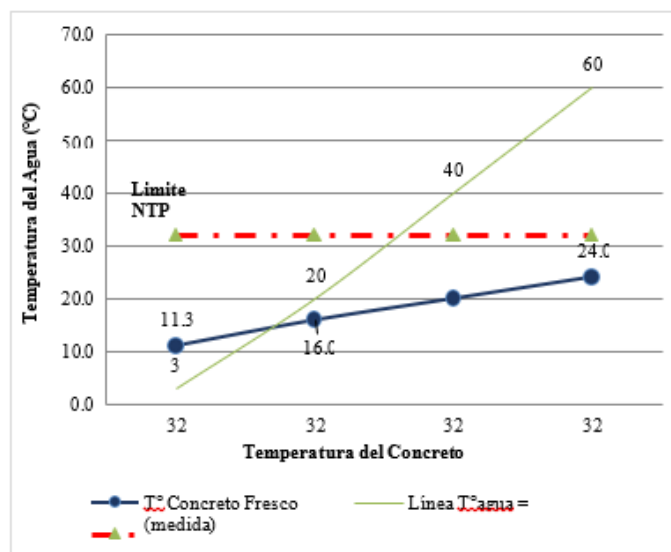


Fig. 1: Temperatura del agua de mezclado y temperatura real medida del concreto

La reducción observada entre la temperatura del agua y la del concreto fresco es consistente, dado que los agregados y el cemento representan aproximadamente el 85% de la masa total de la mezcla, su temperatura inicial ($\approx 13\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura del almacén de laboratorio) amortigua significativamente el efecto del agua. Este comportamiento es técnicamente relevante para la práctica en obra, ya que implica que el uso de agua caliente a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ no necesariamente eleva la temperatura del concreto fresco más allá del límite de $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ establecido por NTP E.060.

e. Condiciones de curado.

Los especímenes de concreto, tanto cilindros ($150 \times 300\text{ mm}$) como vigas prismáticas ($150 \times 150 \times 500\text{ mm}$), fueron desmoldados a las 24 horas del vaciado y trasladados inmediatamente a una poza de curado con agua a temperatura de $15 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, conforme a los requisitos de la ASTM C192/C192M y la NTP 339.033 [16]. La poza de curado, construida con material impermeable y habilitada en el laboratorio de materiales de la Universidad Peruana Unión (UPEU), garantizó la inmersión completa de todos los especímenes durante sus respectivos períodos de evaluación (1, 3, 7 y 28 días). El agua de la poza fue renovada semanalmente para evitar acumulación de iones sulfato o carbonato que pudieran alterar las reacciones de hidratación superficial. Este método de curado por inmersión asegura la disponibilidad permanente de agua para la hidratación del cemento, minimiza las pérdidas térmicas por convección y garantiza condiciones homogéneas de madurez entre especímenes, eliminando la variabilidad asociada a métodos de curado superficial (membranas o apilado húmedo) que son más susceptibles a las condiciones ambientales del altiplano peruano. Asimismo, dado que los ensayos se realizaron en condiciones de laboratorio controladas, el curado en poza permitió aislar el efecto de la temperatura del agua de mezclado —variable independiente del estudio— de la temperatura de curado, la cual se mantuvo constante para todos los grupos experimentales.

f. Determinación del tamaño muestral

El tamaño muestral de $n = 4$ especímenes por grupo y edad de ensayo fue determinado mediante la expresión estadística de estimación de media con varianza conocida: $n = (Z \cdot \sigma / \varepsilon)^2$, utilizando un nivel de confianza del 90% ($Z = 1.65$), una desviación estándar de referencia $\sigma = 11.97\text{ kg/cm}^2$ (obtenida de estudios piloto previos realizados con la misma formulación en el laboratorio de la UPEU), y un margen de error de $\varepsilon = 10.5\text{ kg/cm}^2$. Este tamaño muestral es consistente con los requisitos mínimos del ACI 214R para producción de concreto con control estadístico, que establece un mínimo de 3 especímenes por punto de ensayo. Dado el carácter experimental y controlado del estudio, en el que las fuentes de variabilidad externa fueron minimizadas, $n = 4$ proporciona una estimación confiable dentro del marco de un diseño factorial de laboratorio.

g. Ensayos de laboratorio

Según el Manual de Ensayos de Materiales del Perú, los ensayos de concreto son esenciales para garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad y desempeño exigidos en obras viales. La resistencia a la compresión y flexión determinan la capacidad estructural del material, mientras que el asentamiento en concreto fresco evalúa su consistencia y trabajabilidad, parámetros críticos para su correcta colocación. El contenido de aire, por su parte, incide directamente en la durabilidad frente a ciclos de hielo-deshielo y ataques químicos. Finalmente, el control del tiempo de fraguado, especialmente relevante en el concreto Fast-Track, permite optimizar los procesos constructivos según las condiciones ambientales. Estos ensayos, estandarizados en el manual peruano, constituyen herramientas fundamentales para asegurar la calidad y vida útil de las estructuras de concreto en el país [17].

La evaluación del concreto Fast-Track se realizó considerando su capacidad para desarrollar resistencia de manera acelerada, para lo cual se efectuaron ensayos a 1, 3, 7 y 28 días, los ensayos a 1 día para evaluar la resistencia inicial debido a la hidratación acelerada, a los 3 días para analizar cómo evoluciona la resistencia temprana y el efecto de los aditivos, a los 7 días con el fin de verificar el desarrollo significativo de resistencia y a los 28 días para confirmar la resistencia final, la durabilidad y el desempeño estructural a largo plazo.

TABLA IV
NORMATIVA TECNICA PERUANA/NORMA INTERNACIONAL

Ensayo	Norma	Parámetro
Compresión	NTP 339.034:2015 - ASTM C39/C39M-18	f'_c (kg/cm ²)
Flexión	NTP 339.079:2012 - ASTM C293/C293M-16	MR (kg/cm ²)
Slump	NTP 339.035:2015 - ASTM C143/C143M-15a	Asent. (cm)
Contenido de aire	NTP 339.080:2017 - ASTM C231/C231M17a	Aire (%)
Tiempo de fraguado	ASTM C-150	t_i, t_f (min)

Fuente: Manual de ensayos de materiales [17].

h. Análisis estadístico

La normalidad de las distribuciones fue verificada con la prueba de Shapiro-Wilk, adecuada para muestras pequeñas ($n < 50$) y más sensible que Kolmogorov-Smirnov para detectar desviaciones en los extremos de la distribución. Se aplicó ANOVA de una vía con $\alpha = 0.10$, para evaluar la existencia de diferencias significativas entre los cuatro grupos de temperatura. Ante la confirmación de diferencias ($p < 0.10$), se aplicó la prueba post-hoc HSD de Tukey para identificar específicamente los pares de grupos con diferencias estadísticamente significativas, controlando la tasa de error familiar. Todos los resultados se expresan como media $\pm$ desviación estándar (DE). Los análisis se realizaron con SPSS v.26.

IV. RESULTADOS, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

Con base en los datos experimentales obtenidos, se desarrolló el análisis comparativo y la discusión de resultados, con el propósito de evaluar el comportamiento de las variables estudiadas y determinar su relevancia técnica dentro del contexto de aplicación en ingeniería civil.

Mediante un análisis estadístico ANOVA con un nivel de confianza del 90 %, se evaluó el efecto de diferentes condiciones térmicas en el

desarrollo acelerado del concreto Fast-Track. Se aplicó la prueba post-hoc de Tukey para identificar exactamente entre qué grupos existe diferencia significativa en sus medias. Se contrastaron las hipótesis: H_0 ($p > 0.10$) - "La influencia de las temperaturas no provoca un cambio drástico en el desarrollo acelerado del concreto Fast-Track" versus H_1 ($p \leq 0.10$) - "Las temperaturas provocan cambios significativos en el desarrollo acelerado". Los resultados determinaron si las variaciones térmicas características del altiplano afectan significativamente las propiedades tempranas del concreto, información crucial para el diseño de mezclas en estas condiciones extremas. Se realizó el análisis estadístico de las siguientes pruebas: resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, contenido de aire, trabajabilidad y tiempo de fraguado.

a. Resistencia a la compresión

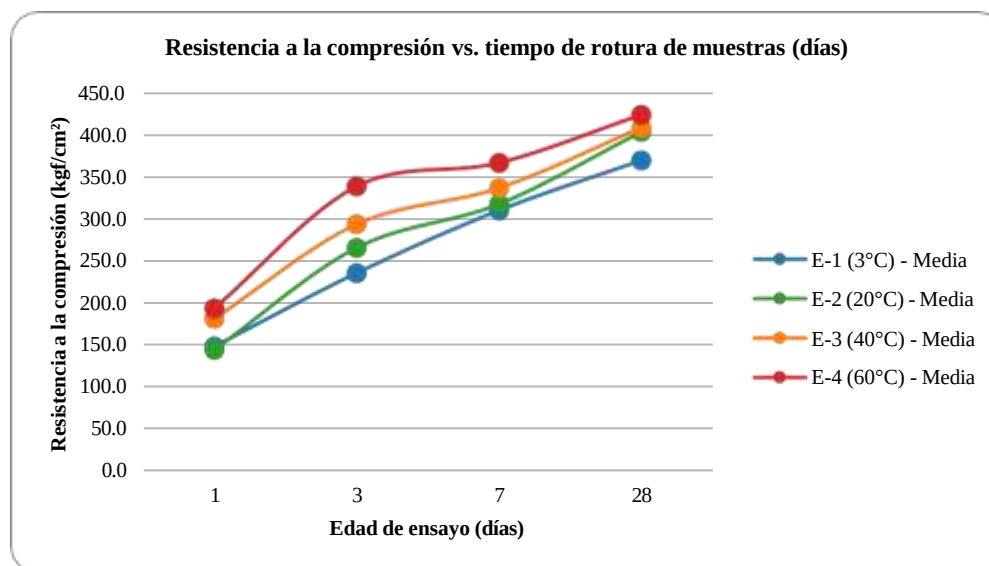


Fig. 2: Resistencia a la compresión vs. tiempo de rotura de muestras (días)

TABLA V
MEDIA ± DESVIACION ESTANDAR (COMPRESION)

Especímen	T° Concreto (°C)	1 día (kgf/cm ²)	3 días (kgf/cm ²)	7 días (kgf/cm ²)	28 días (kgf/cm ²)
E-1 (3°C)	11.25 ± 0.75	148.03 ± 19.9	235.5 ± 6.21	310.23 ± 17.28	369.93 ± 13.49
E-2 (20°C)	16.00 ± 1.00	144.05 ± 9.18	265.63 ± 12.20	317.68 ± 11.22	403.75 ± 6.00
E-3(40°C)	20.00 ± 1.25	181.13 ± 13.25	293.68 ± 21.73	336.85 ± 16.16	408.85 ± 28.61
E-4 (60°C)	24.00 ± 1.00	193.5 ± 6.26	338.85 ± 7.25	366.88 ± 18.66	424.13 ± 7.66

La Tabla V presenta los valores medios de resistencia a compresión para los cuatro especímenes a 1, 3, 7 y 28 días. Se observa un patrón consistente: a mayor temperatura del agua de mezclado, mayor resistencia temprana, pero menor resistencia a los 28 días respecto a los especímenes intermedios. Al primer día, E-4 (193.5 ± 6.26 kgf/cm²) superó a E-3 (181.13 ± 13.25 kgf/cm²), ambos por encima del umbral de habilitación de 168 kgf/cm² (80% del f'c de diseño). E-1 (148.03 ± 19.9 kgf/cm²) y E-2 (144.05 ± 9.18 kgf/cm²) no alcanzaron este umbral en las primeras 24 horas.

TABLA VI
ANOVA SEGUN MUESTREO DE COMPRESION

ANOVA		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Uno	Entre grupos	7152,385	3	2384,128	13,653	,000
	Dentro de grupos	2095,545	12	174,629		
	Total	9247,930	15			
Tres	Entre grupos	23162,553	3	7720,851	43,384	,000
	Dentro de grupos	2135,585	12	177,965		
	Total	25298,138	15			
Siete	Entre grupos	7663,437	3	2554,479	9,884	,001
	Dentro de grupos	3101,493	12	258,458		
	Total	10764,929	15			
Veintiocho	Entre grupos	6271,402	3	2090,467	7,636	,004
	Dentro de grupos	3285,255	12	273,771		
	Total	9556,657	15			

De acuerdo con los resultados del ANOVA presentados en la Tabla VI, se observa que para todos los tiempos de evaluación (1, 3, 7 y 28 días) los valores de significancia ($p \leq 0,004$ en todos los casos) son considerablemente inferiores al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0,1$). Esto nos lleva a rechazar la hipótesis nula en todos los casos, concluyendo que existen diferencias estadísticamente significativas entre al menos

dos de las medias de resistencia a la compresión en cada periodo evaluado. Los valores F particularmente elevados para 3 días ($F = 43,384$) y 1 día ($F = 13,653$) indican una mayor variabilidad entre grupos que dentro de los grupos en estos periodos.

La prueba HSD de Tukey reveló que E-1 y E-2 forman un subconjunto homogéneo al primer día (sin diferencia significativa entre ellos), mientras que E-3 y E-4 forman otro subconjunto. A los tres días, todos los especímenes difieren significativamente entre sí, indicando que es el momento de mayor sensibilidad térmica en el desarrollo de resistencia. A los 28 días, E-2, E-3 y E-4 convergen estadísticamente, siendo E-1 el único espécimen con resistencia significativamente inferior.

La resistencia a compresión obtenida a los 28 días, superior a la resistencia de diseño inicialmente considerada, se explica principalmente por la reducción efectiva de la relación agua/cemento y por el uso de aditivos acelerante y plastificante, los cuales favorecen una hidratación más eficiente del cemento y la formación de una matriz cementante más densa y homogénea. Esta microestructura mejorada se traduce en una menor porosidad capilar y en una mayor capacidad del concreto para resistir esfuerzos de compresión, lo que contribuye a un comportamiento mecánico más estable a largo plazo. No obstante, resistencias elevadas pueden aumentar la fragilidad y limitar la redistribución de esfuerzos; sin embargo, en el rango obtenido, estas limitaciones no son críticas y el concreto cumple con los usos previstos.

b. Resistencia a la flexión (módulo de rotura)

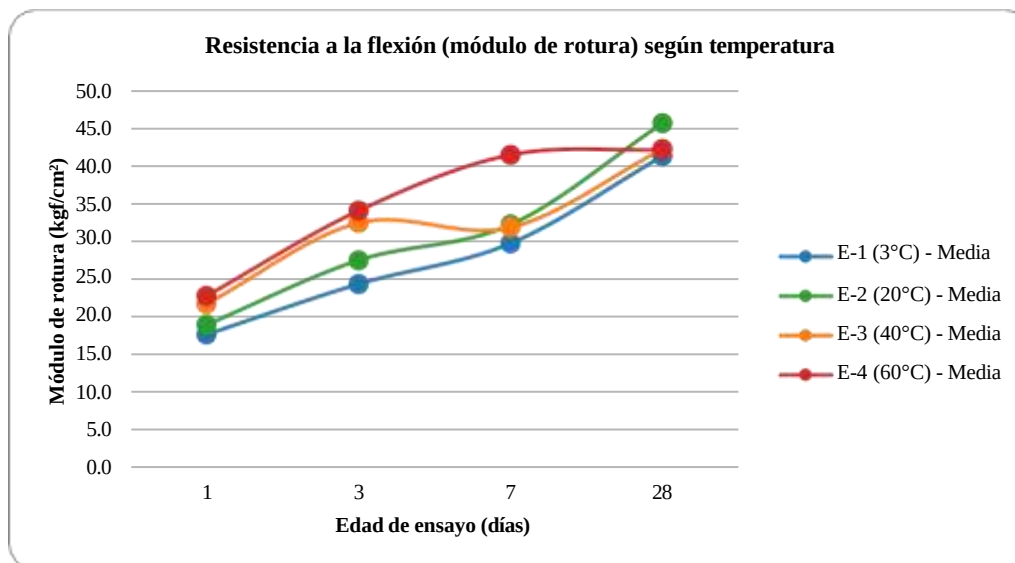


Fig. 3: Resistencia a la flexión de acuerdo a temperaturas

TABLA VII
MEDIA ± DESVIACION ESTANDAR (MODULO DE ROTURA)

Especimen	T° Concreto (°C)	1 día (kgf/cm2)	3 días (kgf/cm2)	7 días (kgf/cm2)	28 días (kgf/cm2)
E-1 (3°C)	11.25 ± 0.75	17.68 ± 2.94	24.38 ± 3.16	29.78 ± 2.48	41.35 ± 0.95
E-2 (20°C)	16.00 ± 1.00	18.97 ± 0.86	27.53 ± 1.91	32.25 ± 1.60	45.73 ± 6.49
E-3(40°C)	20.00 ± 1.25	21.73 ± 1.85	32.48 ± 1.69	31.88 ± 3.96	42.30 ± 5.49
E-4 (60°C)	24.00 ± 1.00	22.80 ± 1.84	34.10 ± 2.40	41.53 ± 3.73	42.23 ± 6.31

La Fig. 3 y la Tabla VII presentan los resultados del módulo de rotura (MR) para las vigas ensayadas bajo carga de tercer punto (ASTM C293). La geometría del elemento (150 × 150 × 500 mm) y la luz de ensayo (450 mm) garantizan que el comportamiento mecánico esté gobernado por los esfuerzos normales de tracción inducidos por el momento flector, condición representativa del estado de tensiones en la losa de un pavimento rígido bajo carga vehicular.

TABLA VIII
ANOVA SEGUN MUESTREO DE FLEXION

ANOVA		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Uno	Entre grupos	67,445	3	22,482	5,642	,012
	Dentro de grupos	47,815	12	3,985		
	Total	115,260	15			
Tres	Entre grupos	240,482	3	80,161	14,421	,000
	Dentro de grupos	66,703	12	5,559		
	Total	307,184	15			
Siete	Entre grupos	327,887	3	109,296	11,402	,001
	Dentro de grupos	115,032	12	9,586		
	Total	442,919	15			
Veintiocho	Entre grupos	44,795	3	14,932	,529	,671
	Dentro de grupos	338,965	12	28,247		
	Total	383,760	15			

Los resultados de resistencia a flexión (módulo de rotura, MR) se presentan en la Tabla VIII. La tendencia es similar a la observada en compresión: mayor temperatura implica mayor MR en edades tempranas. E-3 y E-4 muestran los mayores valores a 1 y 3 días. El ANOVA identificó diferencias significativas entre grupos para los periodos de 1, 3 y 7 días ($p = 0.012$, $p < 0.001$ y $p = 0.001$, respectivamente). Sin embargo, a los 28 días el valor $p = 0.671$ no proporciona evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, indicando que todos los grupos convergen a valores estadísticamente equivalentes de módulo de rotura. Este hallazgo tiene implicaciones técnicas importantes: aunque la temperatura del agua afecta significativamente la resistencia a flexión durante las etapas tempranas de desarrollo, su efecto sobre la capacidad de carga del pavimento a largo plazo es estadísticamente no significativo. En consecuencia, la selección de la temperatura de mezclado óptima puede orientarse principalmente por el criterio de resistencia temprana y trabajabilidad, sin penalización en el desempeño estructural a largo plazo.

c. Contenido de aire

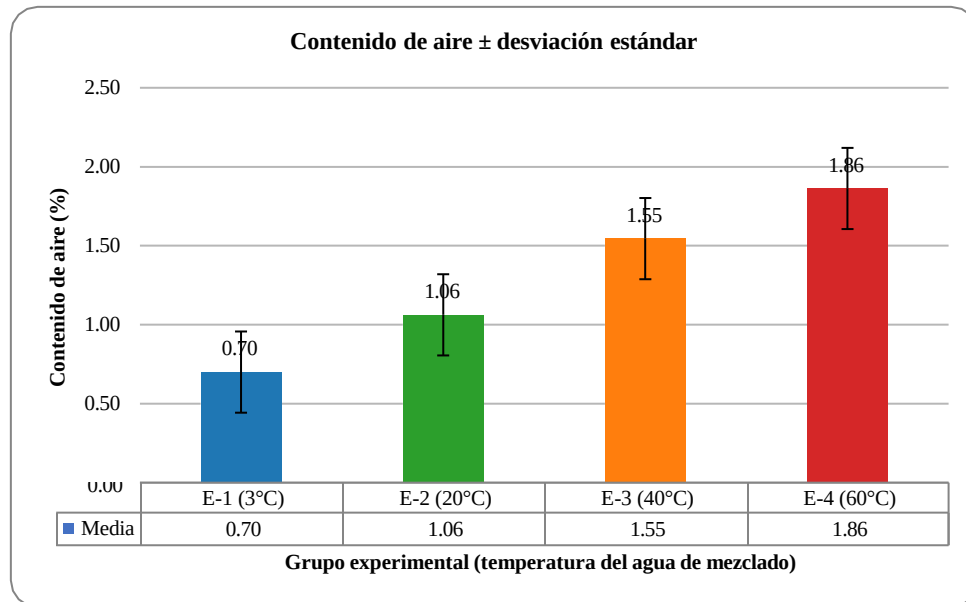


Fig. 4: Contenido de aire ± las desviaciones estándar

La media ± la desviación estándar del contenido de aire fue: 3 °C = 0.70 ± 0.15 %, 20 °C = 1.06 ± 0.10 %, 40 °C = 1.55 ± 0.12 % y 60 °C = 1.86 ± 0.19 %.

TABLA IX
ANOVA SEGUN MUESTRO DE CONTENIDO DE AIRE

ANOVA	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	3,170	3	1,057	52,007	,000
Dentro de grupos	,244	12	,020		
Total	3,414	15			

El análisis de varianza ANOVA para el contenido de aire en concreto fresco Tabla IX muestra un resultado estadísticamente significativo ($F = 52.007$; $p < 0.000$), con un valor p muy por debajo del nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.1$). La considerable magnitud del estadístico F indica una marcada variabilidad entre los grupos en comparación con la variabilidad dentro de los grupos, lo que refuerza la solidez de los resultados obtenidos.

El mecanismo que explica el incremento del contenido de aire con la temperatura es el siguiente: a temperaturas elevadas, la mayor velocidad de hidratación genera calor más rápidamente, lo que promueve la evaporación parcial del agua libre de la mezcla y la formación de microburbujas de vapor. Estas burbujas, al quedar atrapadas en la pasta antes de que alcance suficiente viscosidad para permitir su escape hacia la superficie, incrementan el contenido de aire ocluido [18]. A diferencia del aire incorporado mediante aditivos aireantes (que genera burbujas de tamaño y distribución controlados, beneficiosas para la resistencia al hielo-deshielo), el aire atrapado por este mecanismo se distribuye de forma irregular y puede generar poros de mayor tamaño, aumentando la permeabilidad y reduciendo la durabilidad del concreto endurecido. Este aspecto merece atención especial en el altiplano peruano, donde los ciclos de congelación-descongelación diurnos representan una sollicitación de durabilidad permanente.

d. Trabajabilidad (cono de Abrams)

La Fig. 5 ilustra los valores de asentamiento del cono de Abrams para los cuatro especímenes. E-1 (2.73 ± 0.21 in), E-2 (3.05 ± 0.18 in) y E-3 (2.45 ± 0.23 in) presentan consistencia plástica (rango 2–5 cm según NTP 339.035), adecuada para las operaciones de colocación, extensión y acabado en pavimentos. E-4 (1.23 ± 0.15 in), en cambio, exhibe consistencia seca (asentamiento < 2 in), lo que implica una trabajabilidad

significativamente reducida que dificulta la colocación y compactación del concreto, incrementando el riesgo de presencia de juntas frías y discontinuidades en la losa.

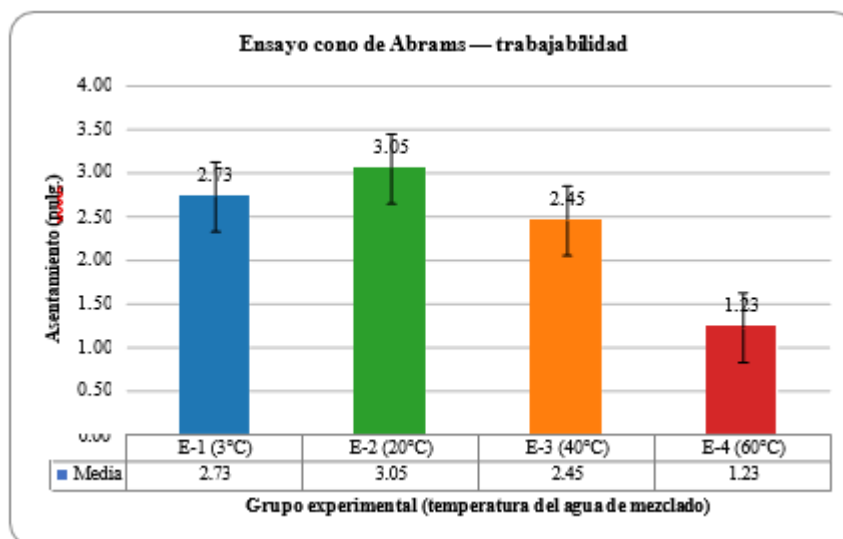


Fig. 5: Ensayo cono de abrams - trabajabilidad

TABLA X
ANOVA SEGUN MUESTREO DE CONO DE ABRAMS

ANOVA	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	7,622	3	2,541	17,778	,000
Dentro de grupos	1,715	12	,143		
Total	9,337	15			

El ANOVA confirmó que existe diferencia significativa ($F = 17.78$, $p < 0.001$), la prueba HSD de Tukey reveló que E-4 forma un subconjunto estadístico independiente, mientras que E-1, E-2 y E-3 no difieren significativamente entre sí. La reducción de la trabajabilidad en E-4 se atribuye a la mayor velocidad de hidratación a alta temperatura, que consume el agua libre de la mezcla más rápidamente, reduciendo la lubricación entre partículas y aumentando la viscosidad plástica de la pasta. Adicionalmente, a temperaturas elevadas el aditivo acelerante SikaRapid®-3 PE actúa con mayor intensidad, precipitando más rápidamente los productos de hidratación del C_3A y contribuyendo a la rigidización prematura de la mezcla.

Desde el punto de vista de la practicidad en obra, este resultado es determinante: E-4 puede lograr la mayor resistencia temprana, pero su consistencia seca lo hace virtualmente inaplicable en pavimentación estándar, especialmente en proyectos de altiplano donde la mezcla puede deber transportarse varios minutos antes de la colocación. E-3, en cambio, mantiene una trabajabilidad plástica compatible con las operaciones típicas de pavimentación, representando el equilibrio técnico más favorable.

e. Tiempos de fraguado

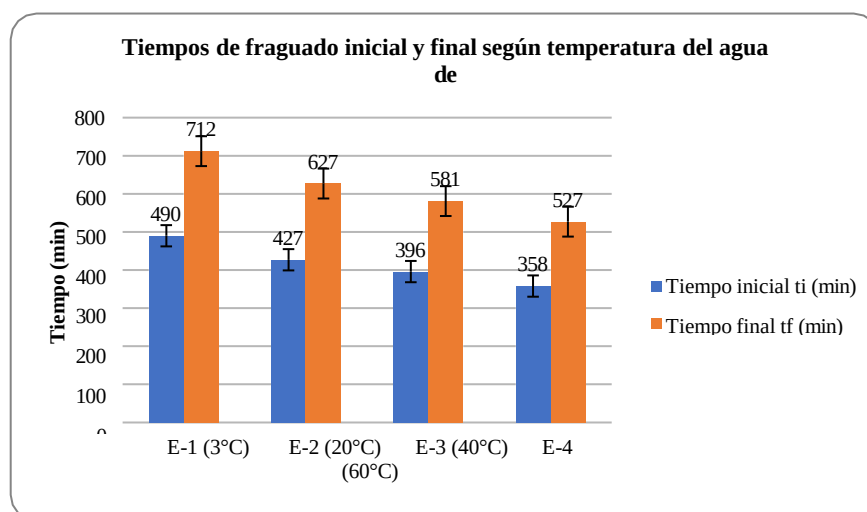


Fig. 6: Ensayo de penetración en concreto fresco

La Fig. 6 presenta los tiempos de fraguado inicial (t_i) y final (t_f) determinados mediante el ensayo de penetración con aguja Vicat (ASTM C403). Los resultados muestran que el incremento de temperatura del agua reduce sistemáticamente los tiempos de fraguado, siendo E-4 el de fraguado más rápido ($t_i = 427$ min; $t_f = 627$ min) y E-1 el más lento ($t_i = 460$ min; $t_f = 712$ min).

El tiempo de fraguado refleja la progresión natural del proceso de hidratación del cemento donde el fraguado inicial corresponde al inicio de la pérdida de trabajabilidad del concreto, y el fraguado final marca la transición hacia un estado sólido, resistente a la penetración.

En términos prácticos, E-4 con agua a 60 °C fragua inicialmente en ~7 h, mientras que E-1 con agua a 3 °C tarda ~7.6 h. Esta diferencia tiene implicaciones directas para la logística de obra: en proyectos con transporte largo o múltiples operaciones de colocación, la temperatura del agua debe seleccionarse cuidadosamente para garantizar que el concreto llegue a la losa antes de perder trabajabilidad.

f. Análisis multicriterio e identificación de la condición óptima

La Fig. 7 presenta un análisis de radar (araña) que integra seis criterios de evaluación clave para cada espécimen, normalizados en una escala de 0 a 10. Los criterios son: resistencia a compresión al primer día (habilitación temprana), módulo de rotura al primer día, trabajabilidad (cono de Abrams), contenido de aire en sentido inverso (menor aire = mayor puntuación, indicando menor riesgo de permeabilidad), resistencia a 28 días (desempeño estructural a largo plazo) y velocidad de fraguado (beneficio para reducir el tiempo de cierre vial).

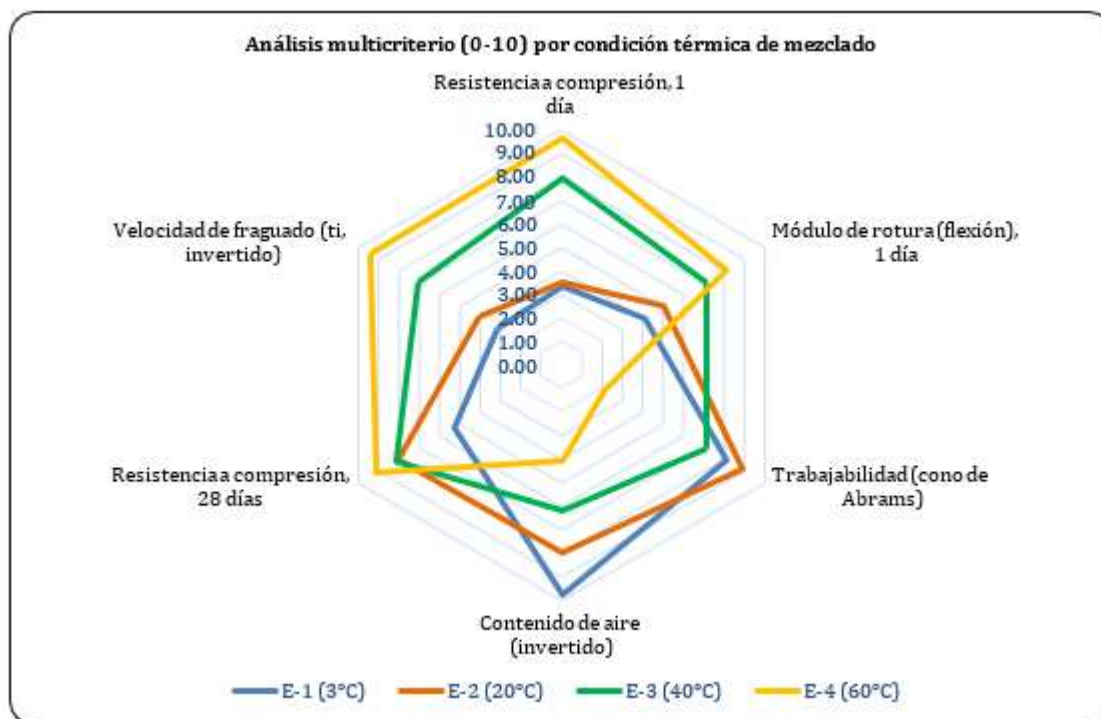


Fig. 7: Análisis multicriterio

El gráfico de radar evidencia con claridad que ningún espécimen es óptimo en todos los criterios simultáneamente, reflejando las compensaciones técnicas inherentes al efecto de la temperatura. E-1 (3 °C) muestra la mejor puntuación en contenido de aire (menor riesgo de permeabilidad) y la mayor ventana de trabajabilidad, pero es deficiente en resistencia temprana y velocidad de fraguado, descalificándolo para aplicaciones Fast-Track. E-4 (60 °C) maximiza la resistencia temprana y la velocidad de fraguado, pero presenta el peor desempeño en trabajabilidad y contenido de aire, lo que lo hace difícilmente aplicable en obra.

E-3 (40 °C) muestra el perfil más equilibrado entre todos los criterios evaluados: alta resistencia temprana (por encima del umbral de habilitación), buena trabajabilidad (consistencia plástica adecuada), aceptable contenido de aire y la segunda mayor resistencia a 28 días. Esta ventaja multidimensional, confirmada estadísticamente, sustenta la identificación de E-3 como la condición óptima de mezclado para aplicaciones Fast-Track en el altiplano peruano.

G. Comparación con estudios previos

Comparando con estudios precedentes, Kim et al. [15] reportaron, para concretos de alta resistencia inicial curados a 10–40 °C, un comportamiento equivalente de aceleración temprana con inversión relativa de resistencia a largo plazo, consistente con los resultados de E-4 en el presente estudio. Neville [19]- [20] documenta que la temperatura de curado afecta más significativamente las primeras 24 h de hidratación que las etapas posteriores, explicando por qué las diferencias entre grupos disminuyen con el tiempo. En cuanto al efecto de la altitud, Qin et al. [20] reportaron resistencias 8–12% inferiores para concreto convencional a 3,600 m s. n. m., resultado que podría esperarse también en el presente estudio; sin embargo, la combinación de aditivo acelerante y plastificante en la formulación Fast-Track parece compensar ese efecto altitudinal, dado que todos los especímenes superaron ampliamente el f'_c de diseño a los 28 días.

V. CONCLUSIONES

El presente estudio demostró experimentalmente que la temperatura del agua de mezclado es una variable de control de primer orden en las propiedades físico-mecánicas del concreto Fast-Track para pavimentos rígidos en el altiplano peruano. El análisis estadístico (ANOVA, $\alpha = 0.10$) confirmó diferencias significativas entre los cuatro grupos de temperatura evaluados en todas las propiedades medidas durante las etapas tempranas de desarrollo del concreto, validando las cuatro hipótesis de trabajo planteadas (H1–H4).

En cuanto a la resistencia temprana —criterio central para la habilitación vial Fast-Track—, solo los especímenes E-3 (agua a 40 °C, concreto fresco a 20.00 ± 1.25 °C) y E-4 (agua a 60 °C, concreto fresco a 24.00 ± 1.00 °C) superaron el umbral de 168 kgf/cm² al primer día, con valores de 181.13 ± 13.25 y 193.5 ± 6.26 kgf/cm², respectivamente. E-1 y E-2 no alcanzaron este umbral en 24 h, aunque ambos superaron el f_c de diseño a los 3 días. Sin embargo, la trabajabilidad constituye una restricción operativa que no puede ignorarse: E-4 presentó consistencia seca (slump = 1.23 in) estadísticamente diferente al resto de grupos ($p < 0.001$), lo que compromete la calidad de colocación y acabado del pavimento. E-3, en cambio, mantuvo consistencia plástica (2.45 in), adecuada para las operaciones de pavimentación estándar.

El análisis multicriterio (Fig. 7) integra seis criterios de desempeño y confirma que E-3 (agua a 40 °C) representa la condición óptima de mezclado: cumple el umbral de habilitación vial, mantiene trabajabilidad plástica adecuada, permanece dentro del límite térmico de la NTP E.060 (T° concreto = 24.8 °C < 32 °C), minimiza el riesgo de incremento excesivo de contenido de aire y garantiza la mayor resistencia a los 28 días entre los grupos con habilitación temprana.

A los 28 días, la resistencia a flexión no mostró diferencias estadísticamente significativas entre grupos ($p = 0.671$), indicando convergencia en la etapa de madurez. Este hallazgo implica que la temperatura del agua de mezclado, aunque crítica para la ganancia temprana de resistencia, no penaliza el desempeño estructural a largo plazo del pavimento, lo que amplía la viabilidad técnica del enfoque Fast-Track con distintas temperaturas de mezclado para aplicaciones con vida útil de diseño completa.

a. Limitaciones

Los ensayos fueron realizados en condiciones controladas de laboratorio, sin simular la radiación solar directa, el viento ni las variaciones térmicas diurnas del altiplano. El tamaño muestral de $n = 4$ por grupo limita la generalización de los resultados a condiciones de campo. Los materiales utilizados (cemento Yura HE, aditivos Sika) tienen características específicas que pueden diferir de otras marcas disponibles en la región. Los resultados corresponden a la altitud de Juliaca (3,824 m s. n. m.) y no han sido validados para otras localidades del altiplano.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda la utilización del concreto fresco de aproximadamente 24–26 °C, dentro del límite de la NTP E.060 (< 32 °C) y suficiente para garantizar la habilitación vial en 24 h. El control térmico del agua debe realizarse mediante tanques con calentadores termostáticos calibrados (precisión ± 2 °C), teniendo en cuenta la variabilidad del clima en el altiplano peruano, el estudio fue realizado con una temperatura ambiental aproximada de 13 °C; no obstante, dado su carácter estacional, esta puede variar a lo largo del año, por lo cual debe ser considerada en la fase de ejecución. Los agregados deben almacenarse en espacios techados o cubiertos con lonas para protegerlos de las bajas temperaturas nocturnas del altiplano (que pueden descender a -4 °C), dado que su alta masa térmica puede reducir significativamente la temperatura final del concreto fresco.

Se deben fabricar probetas testigo curadas in situ (bajo las mismas condiciones que la losa). La apertura al tránsito liviano debe autorizarse únicamente cuando la resistencia de estas probetas supere 168 kg/cm² a las 24 h. Para el tránsito pesado, se recomienda esperar la verificación de resistencia a los 3 o 7 días, según lo exija el diseño estructural del pavimento. El registro de la temperatura del concreto fresco (ASTM C1064) debe incluirse como parte del control de calidad de campo.

Evaluar el efecto combinado de aditivos superplastificantes y aireantes en concretos Fast-Track expuestos a temperaturas extremas, con el fin de mejorar su trabajabilidad en climas fríos y su resistencia al hielo-deshielo en condiciones altiplánicas. Asimismo, sería importante estudiar el uso de cementos de bajo calor de hidratación para reducir riesgos de fisuración por retracción térmica en zonas con alta radiación solar, optimizando así el desempeño del pavimento ante amplitudes térmicas extremas.

Desarrollar ensayos acelerados que simulen ciclos de hielo-deshielo y procesos de carbonatación en condiciones controladas que repliquen el ambiente altiplánico. Estos estudios deberían complementarse con análisis de permeabilidad y absorción capilar para establecer correlaciones entre la microestructura del concreto y su vida útil, proporcionando así criterios técnicos para el diseño de mezclas más duraderas en estas regiones.

Desarrollar modelos numéricos que integren variables climáticas, propiedades mecánicas y parámetros de durabilidad para predecir el comportamiento del concreto Fast-Track en condiciones altiplánicas. Estos modelos deberían permitir optimizar el diseño de mezclas en función de datos termo-higrométricos específicos de cada ubicación, facilitando así la toma de decisiones en proyectos viales.

VII. AGRADECIMIENTOS O FINANCIAMIENTO

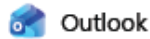
Agradecimiento especial y profundo, en primer lugar, a Dios, por guiarnos y fortalecernos a lo largo de todo este proceso, ya que sin Su presencia nada habría sido posible; a nuestra familia, por su apoyo inquebrantable, comprensión y motivación constante durante cada etapa de la formación académica; a los ingenieros de pregrado y asesores, cuyo conocimiento, orientación y dedicación fueron pilares fundamentales para el desarrollo de la presente investigación; y a nuestros compañeros y amigos, por su colaboración, compañerismo y por compartir los desafíos y logros de este camino. Este logro se concretó gracias al esfuerzo colectivo, por lo que expresamos a todos ellos nuestro más sincero reconocimiento.

VIII. REFERENCIAS

- [1] L. Batet Miracle, "Diseño y construcción de dos digestores anaeróbicos en el altiplano andino peruano", UPCommons, Barcelona, 2007.
- [2] J. Dai, M. Liu, W. Du y Q. Wang, "Frost resistance and life prediction model of ultrafine GGBS equal strength concrete under negative temperature curing", *Construction and Building Material*, vol. 458, n° 139613,, 2025.
- [3] Z. Jiang, B. He, X. Zhu, Q. Ren y Yi Zhang, "State-of-the-art review on properties evolution and deterioration mechanism of concrete at cryogenic temperature", *Construction and Building Materials*, vol. 257, n° 119456, 2020.
- [4] H. Lin, Y. Han, S. Liang, F. Gong, S. Han, C. Shi y Peng Feng, "Effects of low temperatures and cryogenic freeze-thaw cycles on concrete mechanical properties: A literature review", *Construction and Building Materials*, vol. 345, n° 128287, 2022.
- [5] S. Jin, J. Zhang y B. Huang, "Fractal analysis of effect of air void on freeze–thaw resistance of concrete", *Construction and Building Materials*, vol. 47, pp. 126-130, 2013.
- [6] H. Li, S. Jiang, X. Chen, Y. Ge y Shuhui Dong, "Hydration investigation of negative temperature concrete at early age based on low-field nuclear magnetic resonance", *Cold Regions Science and Technology*, vol. 194, n° 103449, 2022.
- [7] P. Kumar Mehta y P. J. M. Monteiro, *Microstructure, Properties and Materials*, California, Berkeley: University of California, Berkeley, 2001, pp. 51-100.
- [8] Z. Mao, J. Wang, J. Shang, Y. Wu y Yang Lu, «Freeze-thaw resistance and optimal service temperature range of low-temperature phase change lightweight aggregate concrete,» *ScienceDirect*, vol. 515, n° 145610, 2026.
- [9] N. Ghafoori y M. W. Tays, "Resistance to wear of fast-track Portland cement concrete", *Construction and Building Materials*, vol. 24, pp. 1424 - 1431, 2010.
- [10] K. Jones, *Special Cements for Fast Track Concrete*, Iowa Department of Transportation, 1988.
- [11] Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, *MANUAL DE CARRETERAS SUELOS, GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS*, Perú: MTC/14, SECCIÓN SUELOS Y PAVIMENTOS.
- [12] X. G. Li Zhao, L. Song, Y. Song, G. Dai y Jiaping Liu, "An intensive review on the role of graphene oxide in cement-based material", *Construction and Building Materials*, vol. 241, n° 117939, 2020.
- [13] G. Sun, H. Zheng, L. Wang, L. Peng, H. Yang y Yifan Li, "Prediction of the hydration heat, temperature distribution and thermal stress of mass concrete", *Case Studies in Construction Materials*, vol. 24, n° e05748, p. 19, 2026.
- [14] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado y P. Baptista Lucio, "METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION", de *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION 6TA EDICION*, Mexico, McGraw-Hill Interamericana, 2014, p. 632.
- [15] J.-K. Kim, S. H. Han y Young Chul Song, "Effect of temperature and aging on the mechanical properties of concrete: Part I. Experimental results", *ScienceDirect*, vol. 32, n° 7, pp. 1087-1094,, 2002.
- [16] N. T. PERUANA, *NTP 339.033*, Perú: INACAL, 2015.
- [17] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, *MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES*, Perú: Direccion de General de Caminos y Ferrocarriles, 2016.
- [18] G. t. Durable, *ACI 201.2R-16*, Estados Unidos: Reported by ACI Committee 201, 2016.
- [19] A. M. Neville, *Concrete Technology*, EE.UU.: PEARSON, 2010.
- [20] L. Fan, W. Meng, L. Teng y Kamal H. Khayat, "Effects of lightweight sand and steel fiber contents on the corrosion performance of steel rebar embedded in UHPC", *Construction and Building Materials*, vol. 238, n° 117709, 2020.

ANEXOS

ANEXO 1. EVIDENCIA DE SUMISIÓN



Acuse de recibo del envío

Desde Zulmary Carolina Nieto Sánchez via Revistas Científicas Universidad de Santander
<revistaojs@udes.edu.co>

Fecha Jue 12/02/2026 09:40

Para GIOVANNI CRISTHOFR VELAZCO ONOFRE <giovanni.velazco@upeu.edu.pe>; ferrer.mamani
<ferrer.mamani@upeu.edu.pe>; edwin.parillo <edwin.parillo@upeu.edu.pe>

Hola,

Giovanni Cristhofer Velazco Onofre ha enviado el manuscrito "Evaluación de la influencia de la temperatura en las propiedades del concreto Fast-Track para pavimentos rígidos en zonas altiplánicas" a AiBi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería.

Si tiene cualquier pregunta no dude en contactarme. Le agradecemos que haya elegido esta revista para dar a conocer su obra.

[%7B\$contextUrl%7D){\$contextName} AVISO LEGAL. Este documento es propiedad de la Universidad de Santander UDES, puede contener información privilegiada o confidencial. Por tanto, usar esta información y sus anexos para propósitos ajenos a los de la Universidad de Santander UDES, divulgarla a personas a las cuales no se encuentre destinado este correo o reproducirla total o parcialmente, se encuentra prohibido en virtud de la legislación vigente. La Universidad de Santander UDES no asumirá responsabilidad sobre información, opiniones o criterios contenidos en este correo que no estén directamente relacionados con la Universidad de Santander UDES. Si usted no es el destinatario autorizado o por error recibe este mensaje, favor borrarlo inmediatamente.'

AiBi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería

— Volver a Enviar

6280 / Velazco Onofre et al. / Evaluación de la influencia de la temperatura en las propiedades del concreto Fast-Track pa Biblioteca de envío

Flujo de trabajo Publicación

Envío Revisión Edición Producción

Archivos de envío

4 10 44000 Planilla Articulo producto de Investigación - ART.TEILPRKFAST.TACU.docx 12 Estado del artículo

Entregado 20/01/26

Descargar todos los archivos

Discusiones previas a la revisión

Ajustar discusión

Usuario	Envío	Ultimo seguimiento	Respuestas	Estado
Comentarios para el editor	giovanni vel 12-02-2026 03:40 PM	giovanni vel 13-02-2026 02:39 PM	1	

ANEXO 2. COPIA DE RESOLUCIÓN DE SUSTENTACIÓN



"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

RESOLUCIÓN N° 615-2026/UPeU-FIA-CF

Lima, Ñaña, 04 de junio de 2026

VISTO:

El expediente de los (las) bachilleres **Ferrer Abel Mamani Calsin** identificado(a) con código universitario N° **201812474** y **Giovanni Cristhofer Velazco Onofre** identificado(a) con código universitario N° **201810485**, 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 sustentación de la tesis en formato artículo;

Que el Comité Dictaminador ha emitido su dictamen aprobando el informe de tesis titulado "Evaluación de la influencia de la temperatura en las propiedades del concreto Fast-Track para pavimentos rígidos en zonas altiplánicas", presentado por los (las) bachilleres **Ferrer Abel Mamani Calsin y Giovanni Cristhofer Velazco Onofre** reuniendo de esta manera las condiciones previas para la declaratoria de expedito para la programación de la sustentación;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 04 de junio de 2026, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Artículo 1. – DECLARAR EXPEDITO a los (las) bachilleres **Ferrer Abel Mamani Calsin y Giovanni Cristhofer Velazco Onofre** para que sustenten la tesis en formato artículo "Evaluación de la influencia de la temperatura en las propiedades del concreto Fast-Track para pavimentos rígidos en zonas altiplánicas", conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil, el 24 de junio, a las 09:20 horas, en la modalidad presencial, en la Sala de Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

Artículo 2. – DESIGNAR EL JURADO DE SUSTENTACIÓN, encargado de gestionar la sustentación respectiva, el mismo que queda constituido por los siguientes miembros:

Presidente: Mtro. Leonel Chahuares Paucar
Secretario: Mg. Herson Duberly Pari Cusi
Asesor: Dr. Edwin Parillo Escarsena
Vocal: Mg. Lily Zea Gonzales

Artículo 3. – DISPONER que la presente Resolución sea registrada, comunicada a las instancias correspondientes y archivada conforme a ley.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Cc:
-Vicerrectoría
-Jurado (20)
-Secretaría General
-Archivos

Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA



Mg. Sc. Gina Marita Tito Tolentino
SECRETARIA ACADÉMICA

ANEXO 3. INSTRUMENTOS

		UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA			
NOMBRE DEL PROYECTO			"Evaluación de la influencia de la temperatura en las propiedades del concreto Fast-Track para pavimentos rígidos en zonas altiplánicas."		
SOLICITANTE			Ferrer Abel Mamani Calsin - Giovanni Cristhofer Velasco Onofre		
RESPONSABLE DEL LABORATORIO			Ing. Herson Duberly Pari Cusi		
PERSONAL DEL LABORATORIO			Bach. Theyson Salas Pampa		Fecha de ejecución de ensayo: según se indica
Ensayos a Compresión de Briquetas ETAPA 1 (E1-C)					
NTP 339.033-NTP 339.034					

ITEM	DESCRIPCIÓN	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	DIAMETRO (cm)	ALTO (cm)	ÁREA (cm ²)	LECTURA (kgf)	RESISTENCIA DE TESTIGO (kgf/cm ²)	RESISTENCIA DISEÑO (kgf/cm ²)	RESISTENCIA PORCENTAJE
1	PATRON-M1	24/02/2025	25/02/2025	1	15.00	29.20	176.71	17874.00	101.15	210.00	48.16%
2	PATRON-M2	24/02/2025	27/02/2025	3	15.10	29.90	179.08	31548.40	176.17	210.00	83.89%
3	PATRON-M3	27/02/2025	28/02/2025	1	15.05	30.00	177.89	21787.50	122.47	210.00	58.32%
4	PATRON-M4	28/02/2025	03/03/2025	3	15.00	29.90	176.71	36645.90	207.37	210.00	98.75%
5	PATRON-M5	03/02/2025	04/02/2025	1	15.03	30.43	177.47	22947.50	129.34	210.00	61.59%
6	M01-1D	12/03/2025	13/03/2025	1	15.00	29.80	176.71	22784.10	128.90	210.00	61.38%
7	M02-1D	12/03/2025	13/03/2025	1	15.00	29.80	176.71	31108.20	176.00	210.00	83.81%
8	M03-1D	12/03/2025	13/03/2025	1	15.00	29.60	176.71	24959.80	141.20	210.00	67.24%
9	M04-1D	12/03/2025	13/03/2025	1	15.00	30.10	176.71	25803.10	146.00	210.00	69.52%
10	M01-3D	21/03/2025	24/03/2025	3	15.60	30.00	191.13	46121.40	239.80	210.00	114.19%
11	M02-3D	21/03/2025	24/03/2025	3	15.65	30.00	192.36	43982.70	228.60	210.00	108.86%
12	M03-3D	21/03/2025	24/03/2025	3	15.50	30.00	188.69	43783.10	232.00	210.00	110.48%
13	M04-3D	21/03/2025	24/03/2025	3	15.50	30.00	188.69	45581.80	241.60	210.00	115.05%
14	M01-7D	12/03/2025	19/03/2025	7	15.00	29.20	176.71	50841.80	287.70	210.00	137.00%
15	M02-7D	12/03/2025	19/03/2025	7	15.10	30.20	179.08	58914.60	329.00	210.00	156.67%
16	M03-7D	12/03/2025	19/03/2025	7	15.00	29.90	176.71	54484.20	308.30	210.00	146.81%
17	M04-7D	12/03/2025	19/03/2025	7	15.00	30.00	176.71	55819.50	315.90	210.00	150.43%
18	M01-28D	12/03/2025	09/04/2025	28	14.90	30.00	174.37	63472.70	364.00	210.00	173.33%
19	M02-28D	12/03/2025	09/04/2025	28	14.90	30.00	174.37	66761.60	382.90	210.00	182.33%
20	M03-28D	12/03/2025	09/04/2025	28	15.00	30.23	176.71	62522.00	353.80	210.00	168.45%
21	M04-28D	12/03/2025	09/04/2025	28	14.93	29.60	175.07	66356.90	379.00	210.00	180.48%
22	M01-1D	05/03/2025	06/03/2025	1	14.92	30.00	174.83	25348.40	144.90	210.00	69.00%
23	M02-1D	05/03/2025	06/03/2025	1	14.95	29.99	175.54	26131.50	148.90	210.00	70.90%
24	M03-1D	05/03/2025	06/03/2025	1	15.00	29.98	176.71	23132.40	130.90	210.00	62.33%
25	M04-1D	05/03/2025	06/03/2025	1	15.06	30.05	178.13	26989.60	151.50	210.00	72.14%
26	M01-3D	11/03/2025	14/03/2025	3	15.45	30.00	187.48	46748.50	249.40	210.00	118.76%
27	M02-3D	11/03/2025	14/03/2025	3	15.50	30.00	188.69	49788.40	263.90	210.00	125.67%
28	M03-3D	11/03/2025	14/03/2025	3	15.20	30.00	181.46	52394.70	277.70	210.00	132.24%
29	M04-3D	11/03/2025	14/03/2025	3	15.40	29.75	186.27	50573.50	271.50	210.00	129.29%
30	M01-7D	05/03/2025	12/03/2025	7	41.95	30.15	188.15	57120.90	325.40	210.00	154.95%
31	M02-7D	05/03/2025	12/03/2025	7	15.20	30.50	181.46	57258.80	315.50	210.00	150.24%
32	M03-7D	05/03/2025	12/03/2025	7	15.22	30.20	181.94	55102.70	302.70	210.00	144.14%
33	M04-7D	05/03/2025	12/03/2025	7	15.15	30.25	180.27	58971.10	327.10	210.00	155.76%
34	M01-28D	05/03/2025	02/04/2025	28	15.00	30.30	176.71	71013.40	401.90	210.00	191.38%
35	M02-28D	05/03/2025	02/04/2025	28	15.00	25.30	176.71	71612.80	405.20	210.00	192.95%
36	M03-28D	05/03/2025	02/04/2025	28	14.93	29.86	175.07	71969.70	411.10	210.00	195.76%
37	M04-28D	05/03/2025	02/04/2025	28	14.95	30.10	175.54	69657.20	396.80	210.00	188.95%
38	M01-1D	11/03/2025	12/03/2025	1	14.99	29.90	176.48	37538.70	184.40	210.00	87.81%
39	M02-1D	11/03/2025	12/03/2025	1	15.00	29.80	176.71	31789.40	179.90	210.00	85.67%
40	M03-1D	11/03/2025	12/03/2025	1	15.00	29.67	176.71	34648.30	196.10	210.00	93.38%
41	M04-1D	11/03/2025	12/03/2025	1	15.00	29.90	176.71	28993.40	164.10	210.00	78.14%
42	M01-3D	11/03/2025	14/03/2025	3	15.00	29.90	176.71	51487.90	291.40	210.00	138.76%
43	M02-3D	11/03/2025	14/03/2025	3	15.10	29.85	179.08	49649.20	277.20	210.00	132.00%
44	M03-3D	11/03/2025	14/03/2025	3	15.10	29.90	179.08	50333.90	281.10	210.00	133.86%
45	M04-3D	11/03/2025	14/03/2025	3	15.10	29.90	179.08	58193.50	325.00	210.00	154.76%
46	M01-7D	06/03/2025	13/03/2025	7	15.00	29.60	176.71	56766.40	321.20	210.00	152.95%
47	M02-7D	06/03/2025	13/03/2025	7	15.11	29.80	179.32	59907.00	334.10	210.00	159.10%
48	M03-7D	06/03/2025	13/03/2025	7	15.00	30.00	176.71	58773.00	332.60	210.00	158.38%
49	M04-7D	06/03/2025	13/03/2025	7	15.00	29.20	176.71	63529.20	359.50	210.00	171.19%
50	M01-28D	06/03/2025	03/04/2025	28	14.96	30.00	175.77	77105.90	439.30	210.00	209.19%
51	M02-28D	06/03/2025	03/04/2025	28	14.95	30.10	175.54	67347.70	383.70	210.00	182.71%
52	M03-28D	06/03/2025	03/04/2025	28	14.95	29.85	175.54	67622.20	385.20	210.00	183.43%
53	M04-28D	06/03/2025	03/04/2025	28	14.95	29.85	175.54	74991.20	427.20	210.00	203.43%
54	M01-1D	18/03/2025	19/03/2025	1	14.90	29.80	174.37	32519.80	186.50	210.00	88.81%

55	M02-1D	18/03/2025	19/03/2025	1	15.00	29.90	176.71	34982.40	198.00	210.00	94.29%
56	M03-1D	18/03/2025	19/03/2025	1	14.95	29.75	175.54	35016.30	199.50	210.00	95.00%
57	M04-1D	18/03/2025	19/03/2025	1	15.00	29.70	176.71	33580.50	190.00	210.00	90.48%
58	M01-3D	18/03/2025	21/03/2025	3	15.00	29.70	176.71	59230.10	335.20	210.00	159.62%
59	M02-3D	18/03/2025	21/03/2025	3	15.10	29.90	179.08	59357.60	331.50	210.00	157.86%
60	M03-3D	18/03/2025	21/03/2025	3	15.05	30.00	177.89	60571.50	340.50	210.00	162.14%
61	M04-3D	18/03/2025	21/03/2025	3	15.00	29.90	176.71	61540.40	348.20	210.00	165.81%
62	M01-7D	06/03/2025	13/03/2025	7	15.00	29.80	176.71	66609.50	379.50	210.00	180.71%
63	M02-7D	06/03/2025	13/03/2025	7	15.00	29.70	176.71	62622.10	354.40	210.00	168.76%
64	M03-7D	06/03/2025	13/03/2025	7	15.05	29.70	177.89	61854.80	347.70	210.00	165.57%
65	M04-7D	06/03/2025	13/03/2025	7	15.00	29.80	176.71	68201.10	385.90	210.00	183.76%
66	M01-28D	06/03/2025	03/04/2025	28	14.94	29.60	175.30	74481.70	424.90	210.00	202.33%
67	M02-28D	06/03/2025	03/04/2025	28	15.20	30.40	181.46	74956.50	413.10	210.00	196.71%
68	M03-28D	06/03/2025	03/04/2025	28	14.90	29.85	174.37	74712.40	428.50	210.00	204.05%
69	M04-28D	06/03/2025	03/04/2025	28	14.94	29.60	175.30	75386.00	430.00	210.00	204.76%

Reservación:

- Las muestras fueron ensayadas en presencia del solicitante
- Las muestras fueron puestas en laboratorio por el solicitante


Encargado de laboratorio

ANEXO 4. INFORMES



INFORME No.604 - 2025 GG/SHGP

PARA : GIOVANNI CRISTHOFR VELAZCO ONOFRE.
FERRER ABEL MAMANI CALSIN.
ATENCIÓN : GIOVANNI CRISTHOFR VELAZCO ONOFRE.
FERRER ABEL MAMANI CALSIN.
DE : GUNNAR P. SUNI HUARACHA - GERENTE GENERAL - C&C SUNING E.I.R.L.
LABORATORIO DE SUELOS - AGREGADOS - CONCRETO - ASFALTO - MAMPOSTERIA - TOPOGRAFIA
ASUNTO : INFORME DE TIEMPO DE FRAGUADO DE MEZCLAS DE CONCRETO POR RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN.
OBRA : "EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO FAST-TRACK PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS EN ZONAS ALTIPLÁNICAS."
FECHA : 31 de MAYO del 2025

Mediante la presente me dirijo a usted para saludarlo cordialmente, a la vez remitirle: INFORME DE TIEMPO DE FRAGUADO DE MEZCLAS DE CONCRETO POR RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN, de la obra/proyecto: "EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO FAST-TRACK PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS EN ZONAS ALTIPLÁNICAS".

Se adjunta lo siguiente: (01 EJEMPLAR = 01 ORIGINAL)

❖ INFORME DE ENSAYOS

✓ FECHA DE ENSAYO: 24/05/2025 - $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
(SLAB-TFMC-(0025 al 0028))
(CLABSUN-(010375 al 010378)).

❖ CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN POR LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR INACAL Y CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN CON PATRONES TRAZABLES CON (INACAL - PUCP).

Es cuanto informo a usted para su conocimiento y fines pertinentes.

Atentamente.

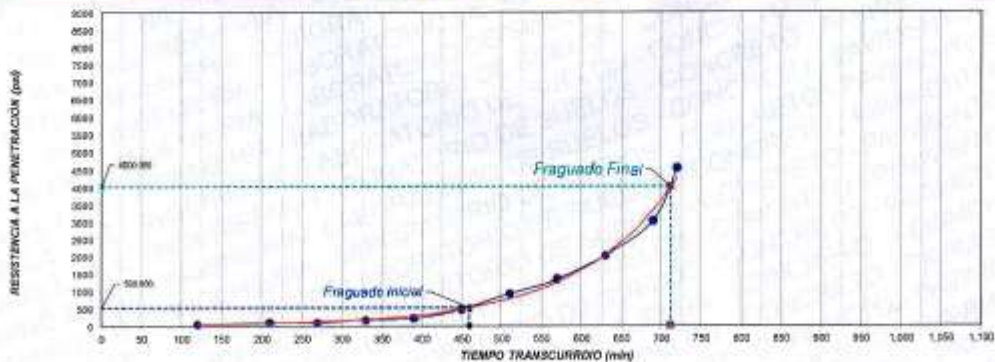

C&C SUNING E.I.R.L.
Ing. Gunnar P. Suni Huaracha
DNI: 84429410
GERENTE GENERAL

NUESTROS FINES:
• HONESTIDAD
• PERSONAL PROFESIONAL Y TÉCNICO CALIFICADO
• CALIDAD EN NUESTROS PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS
• PUNTUALIDAD EN LA ENTREGA DE RESULTADOS E INFORMES

www.suningeirl.pe | suningeirl@gmail.com | Laboratorio: Jr. Cabanillas N°2610 • Juliaca - Peru
Laboratorio de ensayos | Laboratorio Suning EIRL | (+51) 930359498 | RUC: 2010156411

TIEMPO DE FRAGUADO DE MEZCLAS DE CONCRETO POR RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN										
CONCRETO, MORTERO Y LECHADA										
(Normas Internacionales: ASTM C493/C403M-16) - PENETRÓMETRO ACME										
NOMBRE DE PROYECTO (OBRA): "Evaluación de la influencia de la temperatura en las propiedades del concreto Fast-Track para pavimentos rígidos en zonas sísmicas."					LAB. SUMING					
UBICACIÓN DE PROYECTO (OBRA): PUNO - SAN ROMÁN - JULIACA (Campus de la Universidad Peruana Unión)					S.E.:					
PETSICARIO: Giovanni Cristóbal Velasco Orozco - Famer Abel Mariani Celis					TFMC:					
					N.º C.:					
					025					
					R22 1.1					
ING. ESP. RESPONSABLE: D.S.H.					F. WCD DE ENSAYO: 24 de Mayo de 2025					
					F. FM DE ENSAYO: 24 de Mayo de 2025					
					F. DE EMISIÓN: 31 de Mayo de 2025					
INFORMACIÓN DE MUESTRA										
ORIGEN DE LA MUESTRA	DEPARTAMENTO		PROVINCIA		DISTRITO					
	PUNO		SAN ROMÁN		JULIACA					
	REFERENCIA		CANTERA		Yocare, Cole Anegada					
INFORMACIÓN DE MEZCLA										
RESISTENCIA	210		kg/cm²	ADITIVO		Plastificante (1%) Acelerante (4%)				
MARCA Y TIPO DE CEMENTO	YURA PRO - Alta resistencia inicial		AL FINO (kg/m³)	707.45	TMN (A. FINO)	3/8"	GRUESO (kg/m³)	970.4	MN (A. GRUESO)	3/4"
CONTENIDO DE AIRE (%)	2.0	MÉT. DE DETERMINACIÓN	SLUMP (in)	2" - 4"	TEMPERATURA DEL AGUA DE MEZCLA	3	TEMPERATURA DE MEZCLA DESPUÉS DEL TAMIZADO			16.5
PRUEBA DE TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL Y FINAL										
TEMPERATURA (°C) AMBIENTE	TEMPERATURA (°C) ESPECIMEN	HORA DE ENSAYO	TIEMPO TRANSCURRIDO (HORAS)	TIEMPO (min)	FUERZA (lbs)	ÁREA DE CONTACTO (in²)	RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN (psi)			
15.2	15.2	09:11								
15.3	15.3	11:11	02:00	120	31	1.0008	31			
16.1	16.1	12:41	03:30	210	81	1.0008	81			
16.0	16.0	13:41	04:30	270	41	0.5007	82			
16.0	16.0	14:41	05:30	330	79	0.5007	158			
16.0	16.0	15:41	06:30	390	54	0.2500	216			
16.2	16.2	16:41	07:30	450	46	0.0995	462			
15.7	15.7	17:41	08:30	510	90	0.0995	905			
15.6	15.6	18:41	09:30	570	85	0.0494	1316			
15.3	15.3	19:41	10:30	630	99	0.0494	2904			
15.2	15.2	20:41	11:30	690	149	0.0494	3016			
15.0	15.8	21:11	12:00	720	114	0.0252	4524			
TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL Y FINAL										
FRAGUADO INICIAL	500.000	psi	Tiempo transcurrido		460	min	=	07:40:00		
FRAGUADO FINAL	4000.000	psi	Tiempo transcurrido		712	min	=	11:52:00		

GRAFICO DE TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL - FINAL



OBSERVACIONES: * Muestras fueron realizadas en LABORATORIO SUNING.



David Sumi Huaracha
INGENIERO CIVIL
CIP N° 131479

010375

NUESTROS EJES:

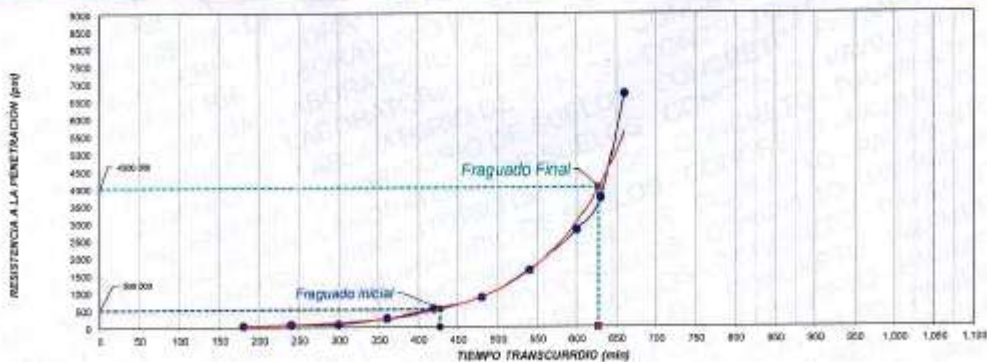
- ✓ HONESTIDAD
- ✓ PERSONAL PROFESIONAL Y TÉCNICO CALIFICADO
- ✓ CALIDAD EN NUESTROS PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS
- ✓ PUNTUALIDAD EN LA ENTREGA DE RESULTADOS E INFORMES.



* Este firmamento prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita por SUNC SUNING E.I.R.L.
* El laboratorio no se hace responsable del mal uso, ni de las consecuencias derivadas de los resultados y datos obtenidos.
* Los resultados de este informe solo están relacionados al espécimen ensayado y no debe ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o servicios de terceros sin el consentimiento de la entidad que lo solicita.
www.suningeirl.pe | suningeirl@gmail.com | Laboratorio Jr. Cabanillas N°2610 - Juliaca - PUNO
Laboratorio de ensayos | Laboratorio Suning E.I.R.L. | (+51) 930359496 | (RUC: 20022003)

TIEMPO DE FRAGUADO DE MEZCLAS DE CONCRETO POR RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN									
CONCRETO, MORTERO Y LECHADA									
(Normas internacionales: ASTM C493/C493M-16) - PENETRÓMETRO ACME									
NOMBRE DE PROYECTO (OBRA): "Evaluación de la influencia de la temperatura en las propiedades del concreto Fast-Track para pavimentos rígidos en zonas alpinas."					LAB. Rev. 06/2017				
UBICACIÓN DE PROYECTO (OBRA): PUNO - SAN ROMÁN - JULIACA (Campus de la Universidad Peruana Unión)					LAB. SUNING				
PETICIONARIO: Giovanni Cristóbal Velasco Oroño - Ferrer Abel Marmori Cádiz					S.E. TPMC				
					N.º E. 026				
					RUE. 1.0				
					ING. EXP. RESPONSABLE: O.S.H.				
					F. INICIO DE ENSAYO: 24 de Mayo de 2025				
					F. FIN DE ENSAYO: 24 de Mayo de 2025				
					F. DE EMISIÓN: 31 de Mayo de 2025				
INFORMACIÓN DE MUESTRA									
ORDEN DE LA MUESTRA	DEPARTAMENTO			PROVINCIA			DISTRITO		
	PUNO			SAN ROMÁN			JULIACA		
	REFERENCIA			CANTERA			Tocara, Cda Arevalo		
INFORMACIÓN DE MEZCLA									
RESISTENCIA	210	kg/cm²	ACITIVO	Plastificante (1%) Acelerante (4%)					
MARCA Y TIPO DE CEMENTO	VURA PRO - Alta resistencia inicial	A. FINO (kg/m³)	707.46	TMN (A. FINO)	3/8"	GRUESO (kg/m³)	970.4	MM (A. GRUESO)	3/4"
CONTENIDO DE AIRE (%)	2.0	MET. DE DETERMINACIÓN	SLUMP (in)	2" - 4"	TEMPERATURA DEL AGUA DE MEZCLA	60	TEMPERATURA DE MEZCLA DESPUES DEL TAVIZADO	23	
PRUEBA DE TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL Y FINAL									
TEMPERATURA °C (AMBIENTE)	TEMPERATURA °C (ESPECIMEN)	HORA DE ENSAYO	TIEMPO TRANSCURRIDO (HORAS)	TIEMPO (min)	FUERZA (lbs)	AREA DE CONTACTO (in²)	RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN (psi)		
14.8	14.5	11:20							
14.5	14.5	14:20	03:00	180	46	1.0006	46		
14.5	14.5	15:20	04:00	240	38	0.8007	76		
14.9	14.9	16:20	05:00	300	22	0.2500	88		
15.0	15.0	17:20	06:00	360	64	0.2500	256		
15.2	15.2	18:20	07:00	420	51	0.0996	513		
15.3	15.3	19:20	08:00	480	84	0.0996	844		
15.7	15.7	20:20	09:00	540	90	0.0494	1519		
15.5	15.5	21:20	10:00	600	137	0.0494	2773		
15.5	15.5	21:30	10:30	630	183	0.0494	3704		
15.5	15.5	22:20	11:00	660	168	0.0262	6667		
TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL Y FINAL									
FRAGUADO INICIAL	500.000	psi	Tiempo transcurrido	427	min	=	07:07:00		
FRAGUADO FINAL	4000.000	psi	Tiempo transcurrido	627	min	=	10:27:00		

GRAFICO DE TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL - FINAL



OBSERVACIONES:

* Muestras fueron realizadas en LABORATORIO SUNING por PETICIONARIO.

[Firma]
Diana Sani Huaracha
INGENIERO CIVIL
CIP N° 131479

010378

NUESTROS EIES

- HONESTIDAD
- PERSONAL PROFESIONAL Y TÉCNICO CALIFICADO
- CALIDAD EN NUESTROS PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS
- CUMPLIMIENTO EN LA ENTREGA DE RESULTADOS Y REPORTES



* Este documento es propiedad de SUNING E.I.R.L. y no debe ser reproducido sin la autorización expresa de SUNING E.I.R.L.
* Las resultados de este informe son válidos solo para el proyecto y no deben ser utilizados como un certificado de conformidad de otros proyectos o para fines de otro tipo.
* Este documento es propiedad de SUNING E.I.R.L. y no debe ser reproducido sin la autorización expresa de SUNING E.I.R.L.
www.suningeirl.pe | suningeirl@gmail.com | Laboratorio: Jr. Cabanillas N° 2610 - Juliaca - Perú
Tel: 051 930 359 495 | Fax: 051 930 359 495



LABORATORIO DE METROLOGÍA
ESPECIALIZADO EN INGENIERÍA CIVIL



CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

Certificado de Calibración - Laboratorio de Fuerza

Calibration Certificate - Laboratory of Force

1WDS-2024 GLF

Página / Pág. 1 de 1

Objeto de Prueba <i>Test Object</i>	MAQUINA DE ENSAYOS A COMPRESIÓN
Instrumento <i>Instrument</i>	PENETRÓMETRO ACME PARA LABORATORIO
Fabricante <i>Manufacturer</i>	FORNEY
Modelo <i>Model</i>	LA-4110
Número de Serie <i>Serial Number</i>	H4131
Identificación Interna <i>Internal Identification</i>	SL-025-PA
Capacidad Máxima <i>Maximum Capacity</i>	200 lbf
División de Escala <i>Scale Division</i>	2 lbf
Solicitante <i>Customer</i>	CONSTRUCTORA Y CONSULTORA SUNI INGENIEROS E.I.R.L.
Dirección <i>Address</i>	AV. ARQUEDAS MZA. E8A LOTE 14 URB. LA CAPILLA PUNO - SAN ROMAN - JULIACA
Ciudad <i>City</i>	JULIACA
Fecha de calibración <i>Date of calibration</i>	2024-07-22
Fecha de Emisión <i>Date of issue</i>	2024-07-22

Los resultados emitidos en este Certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que pueden derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.

Este Certificado de Calibración documenta y asegura la trazabilidad de los resultados a patrones nacionales e internacionales, que reproducen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

El usuario es responsable de la Calibración de los instrumentos en apropiados intervalos de tiempo.

The results issued in this Certificate relates to the time and conditions under which the measurements. These results correspond to the item that relates on page number one. The laboratory, which will not be liable for any damages that may arise from the improper use of the instruments and/or the information provided by the customer.

This Calibration Certificate documents and ensures the traceability of the reported results to national and international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).

The user is responsible for Calibration the measuring instruments at appropriate time intervals.

Número de páginas del certificado, incluyendo anexos

6

Number of pages of the certificate and documents attached

Sin la aprobación del Laboratorio de Metrología G&L Laboratorio no se puede reproducir el Certificado, excepto cuando se reproduce en su totalidad, ya que proporciona la seguridad que las partes del Certificado no se escapan de contexto. Los certificados de calibración sin firma no son válidos.

Without the approval of the G&L Laboratorio Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the Certificate are not taken out of context. Unsigned calibration certificates are not valid.

Firmas que Autorizan el Certificado

Signatures Authorizing the Certificate



Av. Miraflores Mz. E Lt. 60 Urb Santa Elisa II Etapa. Los Olivos - Lima

Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gyllaboratorio@gmail.com

Teléfono
(01) 622 - 58 - 14

Celular
992 - 302 - 883 / 927 - 603 - 430



Firmado digitalmente por:
YOPLAC VILLANUEVA JHON
JEFFERSON FIR 70812584 hard
Motivo: JEFE DEPARTAMENTO
DE METROLOGÍA
Fecha: 22/07/2024 10:44:19-0500

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.



1WDS-2024 GLF

Página 2 de 8

DATOS TÉCNICOS

Instrumento Bajo Calibración (IBC)		Instrumento(s) de Referencia	
Clase según ISO 7500-1	No Identificable	Instrumento	Celda de Carga Tipo "S" 500kg
Clase según ISO 376	No Identificable	Marca	OHALUS // KELI
Dirección de Carga	Compresión	Modelo	T31P // A-FED
Tipo de Indicación	Análogo	Clase ISO 7500-1	0,5
División de Escala	2 lbf	Número de Serie	B632871732 // AHK2580
Resolución	2 lbf	Certificado de	CC - 0194 - 2023
Intervalo de Medición	Del 10% al 100% de la carga máxima	Calibración	2023 - 11 - 07
Calibrado		Fecha Calibración	EUROTECH // GL-THD02
Límite Superior de Calibración	200 lbf	Termohigrómetro	CT-1022-2024 // CT-1024-2024

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

La calibración se efectuó siguiendo los lineamientos establecidos en el documento de referencia ABNT NBR 8107:2021 "Materiais Metálicos - Calibração de Instrumentos de Medição de Força do Uso Geral", en donde se especifica un intervalo de temperatura comprendido entre 10°C a 35°C, con una variación máxima de 3°C durante cada serie de medición.

Se utilizó el método de comparación directa aplicando Fuerza Indicada Constante.

Se realizó una inspección general del equipo y se determina que: El equipo requiere ajuste de la indicación.

Tabla 1.

Indicaciones como se encuentra el equipo previo al ajuste

Indicación del IBC		Indicaciones Registradas del Patrón			Promedio S _{4, 2 y 3} lbf	Errores Relativos	
		S ₁ Ascendente lbf	S ₂ Ascendente lbf	S ₃ Ascendente lbf		Indicación q %	Repetibilidad b %
20	40	43,10	43,08	43,54	43,541	-8,13	2,03
60	120	125,22	127,21	126,22	126,215	-4,92	1,57
100	200	205,25	206,57	205,81	205,912	-2,87	0,64

Tabla 2.

Indicaciones como se entrega el equipo posterior al ajuste

Indicación del IBC		Indicaciones Registradas del Equipo Patrón para Cada Serie					Promedio S _{4, 2 y 3} lbf
		S ₁ Ascendente lbf	S ₂ Ascendente lbf	S ₃ No Aplica ---	S ₄ Ascendente lbf	S ₅ No Aplica ---	
10	20	23,48	22,27	---	21,16	---	22,30
20	40	44,31	43,43	---	44,75	---	44,17
30	60	85,04	63,05	---	64,49	---	64,19
40	80	84,88	83,58	---	84,00	---	84,14
50	100	106,26	105,38	---	105,16	---	105,60
60	120	125,11	125,00	---	125,22	---	125,11
70	140	144,84	144,18	---	146,17	---	145,06
80	160	166,67	165,79	---	165,79	---	166,08
90	180	188,50	183,43	---	185,41	---	185,78
100	200	205,36	203,05	---	204,15	---	204,19
Ind. después de Carga		0,00	0,00	---	0,00	---	---

Técnico de Calibración: Euler Tiznado Becerra

Firmas que Autorizan el Certificado

Signatures Authorizing the Certificate



Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gyllaboratorio@gmail.com

Teléfono
(01) 622 - 58 - 14

Celular
992 - 302 - 883 / 927 - 603 - 430

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb Santa Elisa II Etapa.
Los Olivos - Lima

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.



1WDS-2024 GLF

Página / Pág. 2 de 8

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN Continúa...

Tabla 3.

Error relativo de cero, f_0 , calculado para cada serie de medición a partir de su cero residual.

$f_{0,01}$ %	$f_{0,02}$ %	$f_{0,05}$ %	$f_{0,05}$ %	$f_{0,04}$ %
0,000	0,000	---	0,000	---

Tabla 4.

Resultados de la Calibración del Instrumento para medición de fuerza.

Indicación del IBC		Errores Relativos				Resolución Relativa	Incertidumbre Expandida	
		Indicación	Repetibilidad	Reversibilidad	Accesorios			
%	lbf	q %	b %	v %	Acces.	# %	lbf	%
10	20	-10,327	10,380	---	---	2,000	1,221	6,105
20	40	-9,433	2,996	---	---	1,000	0,742	1,855
30	60	-6,529	3,091	---	---	0,667	1,130	1,883
40	80	-4,824	1,572	---	---	0,500	0,777	0,971
50	100	-5,305	1,044	---	---	0,400	0,682	0,582
60	120	-4,088	0,177	---	---	0,333	0,274	0,229
70	140	-3,491	1,368	---	---	0,286	1,154	0,824
80	160	-3,662	0,530	---	---	0,250	0,621	0,388
90	180	-3,109	2,729	---	---	0,222	2,870	1,595
100	200	-2,050	1,134	---	---	0,200	1,337	0,669

Gráfica de Errores Relativos



CONDICIONES AMBIENTALES

La Calibración fue ejecutada en el LAB. DE SUELOS, CONCRETOS Y ASFALTO DE CONSTRUCTORA Y CONSULTORA SUNI INGENIEROS E.I.R.L., ubicado en la ciudad de JULIACA. Durante la Calibración se presentaron las siguientes condiciones ambientales.

Temperatura Ambiente Máxima: 18°C
Humedad Relativa Máxima: 29% HR.

Temperatura Ambiente Mínima: 16°C
Humedad Relativa Mínima: 29% HR.

Firmas que Autorizan el Certificado
Signatures Authorizing the Certificate



Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gyllaboratorio@gmail.com

Teléfono: (01) 622 - 58 - 14 **Celular:** 992 - 302 - 883 / 927 - 603 - 430

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb Santa Elisa II Etapa.
Los Olivos - Lima

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° CC-0194-2023

Requerimiento
6674-2023

Fecha de Emisión
2023-11-09

1. SOLICITANTE : G&L LABORATORIO S.A.C.
Dirección : Av. Miraflores Mza. E Lote 60 Urb. Santa Elisa
ET. 2 - Lima - Lima - Los Olivos.

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : CELDA DE CARGA

Marca : KELLY
Modelo : A-FED
Modo de Operación : COMPRESIÓN
Número de Serie : AHK2580
Identificación : CEL-G&L-037
Procedencia : NO INDICA
Alicance : 500 kg
Ubicación : LABORATORIO DE METROLOGÍA

Datos del Dispositivo Indicador

Tipo : DIGITAL
Marca : OHAUS
Modelo : T31P
Número de Serie : B832871732
Resolución : 0,05 kg

3. FECHA Y LUGAR DE LA CALIBRACIÓN

Calibrado el 2023-11-07 en el LABORATORIO DE FUERZA Y PRESIÓN

4. MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó mediante el método de comparación directa, usando el ME-002 "Procedimiento para la Calibración de los Instrumentos de Medida de Fuerza", edición digital 1, CEM - España.

5. TRAZABILIDAD

Los resultados de la calibración tienen trazabilidad a los patrones nacionales e internacionales.

Patrones Utilizados	Certificado
Pesas M ₂ de 20 kg	CM-1357-2023
Pesas M ₂ de 10 kg	CM-1362-2023

6. CONDICIONES DE CALIBRACIÓN

Temperatura Ambiental : De 22,5 °C a 23,8 °C
Humedad Relativa : De 60,0% H.R. a 65,0% H.R.

Los resultados del presente certificado sólo son válidos para el objeto calibrado, no pudiendo extenderse a ningún otro objeto que no haya sido calibrado, así mismo, estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Total Weight & Systems S.A.C. no se responsabiliza por los perjuicios que pueda provocar cualquier interpretación errónea de los resultados del presente certificado.

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de Total Weight & Systems S.A.C.

Los certificados carecen de validez sin la firma y sello del Laboratorio de Calibración de Total Weight & Systems S.A.C.



[Firma]
Ricardo Sotomayor Jaime
Gerente del L.C.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° CC-0194-2023

7. RESULTADOS

Lecturas Obtenidas Durante la Calibración

Masa de Referencia (kg)	Indicación del Equipo (kg)					
	Serie de Medidas - Posiciones Angulares					
	$x_1 - 0^\circ$	$x_2 - 0^\circ$	$x_3 - 120^\circ$	$x_4 - 120^\circ$	$x_5 - 240^\circ$	$x_6 - 240^\circ$
0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50,0000	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	49,95
100,0000	99,95	100,00	100,00	99,95	99,95	99,95
150,0000	150,00	150,05	150,05	150,00	150,00	150,05
200,0000	200,00	199,95	200,05	200,10	200,10	200,05
250,0000	250,10	250,10	250,15	250,15	250,20	250,15
300,0000	300,00	300,00	300,05	300,00	300,05	300,00
350,0000	350,05	350,10	350,10	350,10	350,05	350,10
400,0000	400,10	400,15	400,15	400,20	400,20	400,15
450,0000	450,15	450,20	450,15	450,20	450,15	450,15
500,0000	500,15	500,10	500,15	500,15	500,20	500,15
0,0000	0,00	0,00	-	0,00	-	0,00

Propiedades Metroológicas del Equipo bajo Calibración, según Norma ISO 376

Masa de Referencia (kg)	Medio con rotación $\bar{x}_i$ (kg)	Error relativo de reproducibilidad con rotación b (%)	Medio sin rotación $\bar{x}_{si}$ (kg)	Error relativo de repetibilidad sin rotación b' (%)	Error relativo de interpolación f_c (%)	Error relativo de reversibilidad v (%)
50,0000	50,00	0,060	50,00	0,060	0,042	0,050
100,0000	99,97	0,050	99,98	0,050	-0,037	0,025
150,0000	150,02	0,033	150,03	0,033	-0,007	0,033
200,0000	200,05	0,050	199,98	0,025	0,002	0,025
250,0000	250,15	0,040	250,10	0,000	0,034	0,010
300,0000	300,03	0,017	300,00	0,000	-0,017	0,017
350,0000	350,07	0,014	350,08	0,014	-0,011	0,007
400,0000	400,15	0,025	400,13	0,012	0,007	0,012
450,0000	450,15	0,000	450,18	0,011	0,001	0,006
500,0000	500,17	0,010	500,13	0,010	-0,001	0,005

Serie	x_1	x_2	$x_3 - x_4$	$x_5 - x_6$
f_e (%)	0,000	0,000	0,000	0,000

f_e : Error relativo de caso



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° CC-0194-2023

Compresión

Masa de Referencia (kg)	Medida con rotación $\bar{X}_i$ (kg)	Error (%)	Incertidumbre (%)
50,0000	50,00	0,000	0,067
100,0000	99,97	-0,030	0,059
150,0000	150,02	0,013	0,042
200,0000	200,05	0,025	0,044
250,0000	250,15	0,060	0,035
300,0000	300,03	0,010	0,021
350,0000	350,07	0,020	0,019
400,0000	400,15	0,037	0,024
450,0000	450,15	0,033	0,013
500,0000	500,17	0,034	0,014

Ecuación de Mejor Ajuste para Obtener la Masa en Función de la Lectura Observada

$$M(L) = a_3 L^3 + a_2 L^2 + a_1 L + a_0$$

Coefficientes para $M = M(L)$	a_3	a_2	a_1	a_0	Tipo de ecuación
Compresión	1,01E-09	-6,59E-07	1,00E+00	-5,00E-02	Cúbica

M: Masa pronóstica de la ecuación de mejor ajuste que se aplica al equipo bajo prueba, en kg

L: Lectura observada en el indicador del equipo a prueba, bajo una fuerza aplicada y se obtiene como:

$$L = (\text{Lectura bajo una carga aplicada} - \text{Lectura de cero, sin una carga aplicada})$$

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de la medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. Generalmente, el valor de la magnitud de medición está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95%.

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una nueva calibración, la cual esté en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

8. OBSERVACIONES

No se realizó ningún tipo de ajuste al equipo.

Fin del Documento



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° CT-1022-2024

Requerimiento
5072-2024

Fecha de Emisión
2024-02-09

1. SOLICITANTE : G & L LABORATORIO S.A.C.
Dirección : Av. Miraflores Mza. E Lote 60 Urb. Santa
Elisa Et 2, Los Olivos - Lima - Lima

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : TERMÓMETRO DE
INDICACIÓN DIGITAL

Marca : EUROTCH
Modelo : NO INDICA
Número de Serie : NO INDICA
Identificación : GL-THD02
Procedencia : NO INDICA
Elemento Sensor : NO ESPECIFICADO
Intervalo de Indicación : De -50 °C a 70 °C
Resolución : 0,1 °C

3. FECHA Y LUGAR DE LA CALIBRACIÓN
Calibrado el 2024-02-02 en el Laboratorio de Temperatura y Humedad

4. MÉTODO DE CALIBRACIÓN
La calibración se realizó mediante el método de comparación según el
PC-017 2da Edición, 2012: "Procedimiento de Calibración de
Termómetros Digitales" del SNM/INDECOPI.

5. TRAZABILIDAD
Los resultados de la calibración tienen trazabilidad a patrones
nacionales e internacionales.

Patrones Utilizados	Certificado
2 Termómetros de indicación digital	LT-248-2023 LT-077-2023

6. CONDICIONES DE CALIBRACIÓN

Temperatura Ambiental : De 20,2 °C a 21,1 °C
Humedad Relativa : De 54% H.R. a 64% H.R.

Los resultados del presente
certificado sólo son válidos para el
instrumento calibrado, no pudiendo
extenderse a ningún otro instrumento
que no haya sido calibrado, así
mismo, estos resultados no deben ser
utilizados como una certificación de
conformidad con normas de producto
o como certificado del sistema de
calidad de la entidad que lo produce.

Total Weight & Systems S.A.C. no se
responsabiliza por los perjuicios que
pueda provocar cualquier
interpretación errónea de los
resultados del presente certificado.

Este certificado de calibración sólo
puede ser difundido completamente y
sin modificaciones. Los extractos o
modificaciones requieren la
autorización de Total Weight &
Systems S.A.C.

Los certificados carecen de validez
sin la firma y sellos de Total Weight &
Systems S.A.C.



José Luis Palacios Cubillas
Metrólogo