

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



**Evaluación del polvo de aluminio en las propiedades físico –  
mecánicas del concreto expuesto al congelamiento y deshielo  
en Macusani**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

**Autor:**

Hugo Raúl Coaquira Yucra  
Gary Quispe Pizarro

**Asesor:**

Mg. Herson Duberly Pari Cusi

**Juliaca, noviembre de 2025**


## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Herson Duberly Pari Cusi, 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 DEL POLVO DE ALUMINIO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL CONCRETO EXPUESTO AL CONGELAMIENTO Y DESHIELO EN MACUSANI”** de los autores Hugo Raúl Coaquira Yucra y Gary Quispe Pizarro tiene un índice de similitud de 18 % 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 01 días del mes de diciembre del año 2025.



Mg. Herson Duberly Pari Cusi

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 24 día(s) del mes de noviembre del año 2025, siendo las 8:30 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la presidencia de (de la) presidente(a)



Mtro. Leonel Chahuarcas Paucar el (la) secretario(a): Dr. José Pacori Paeri y los demás miembros: Dr. Edwin Parillo Escarcasa y el (la) asesor(a) Mg. Herson Duperly Paru Guasi

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: Evaluación del polo de aluminio en los propósitos físicos mecánicos del concreto expuesto al congelamiento y deshielo en Macuzoni

del(los) bachiller/es: a) Hugo Raúl Coaguira Yura  
 b) Gary Quipe Pizarro  
 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): Hugo Raúl Coaguira Yura

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

Bachiller (b): Gary Quipe Pizarro

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Buena</u>	<u>Muy Buena</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/a  
[Firma]  
 Asesor/a  
[Firma]  
 Bachiller (a)

[Firma]  
 Miembro  
[Firma]  
 Bachiller (b)

[Firma]  
 Secretario/a  
 Miembro  
 Bachiller (c)

## Lista de Contenido

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
INTRODUCCIÓN	7
METODOLOGÍA	11
2.1. Diseño experimental	11
2.2. Polvo de aluminio	14
2.3. Preparación de mezclas	20
2.4. Ensayo de congelamiento y deshielo	22
2.5. Protocolo de ensayo para ciclos rápidos de congelamiento y deshielo (ASTM C666)	
– Simulación en Ciudad de Macusani	27
2.6. Cantidad de ciclos de congelamiento-deshielo aplicados	29
RESULTADOS	31
3.1. Resistencia a la compresión (NTP 339.034)	31
3.2. Contenido de aire (NTP 339.083)	36
3.3. Asentamiento (NTP 339.035)	38
3.4. Densidad del concreto en estado fresco según NTP 339.046	41
DISCUSIÓN	43
CONCLUSIÓN	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXOS	56

# **Evaluación del polvo de aluminio en las propiedades físico – mecánicas del concreto expuesto al congelamiento y deshielo en Macusani**

## **Evaluation of Aluminum Powder on the Physical-Mechanical Properties of Concrete Exposed to Freeze-Thaw Cycles in Macusani**

### **Resumen**

El concreto empleado en zonas expuestas a temperaturas bajas experimenta un deterioro acelerado como consecuencia de los ciclos de congelación y descongelación, lo que origina agrietamiento prematuro y compromete su estabilidad estructural. Ante esta problemática, la presente investigación examinó la aplicación de polvo de aluminio en las características físico-mecánicas del material cementicio expuesto a ciclos de congelación y descongelación en Macusani, determinando su incidencia en las propiedades físicas y mecánicas, así como el porcentaje óptimo como incorporador de aire. Se diseñaron seis mezclas con una resistencia especificada ( $f'c$ ) de 210 kg/cm<sup>2</sup>: un concreto patrón sin aditivos, Se evaluaron cuatro dosificaciones de polvo de aluminio (0.05%, 0.075%, 0.10% y 0.15% respecto al peso del cemento) para determinar la dosificación óptima. Se incluyó una mezcla de referencia con 0.05% del aditivo comercial Chema Air para comparar el desempeño. A estas se les evaluaron sus propiedades en estado fresco, incluyendo asentamiento, contenido de humedad, peso unitario y contenido de aire. Posteriormente, los especímenes se sometieron a curado y a ciclos de congelamiento y deshielo, para determinar su resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días. La dosificación de 0.05% de polvo de aluminio optimizó el concreto, aumentando la resistencia a la compresión en 6.74% respecto al patrón. Este mejoramiento se debe a una reducción de la densidad (de 2232 a 2184 kg/m<sup>3</sup>) y un aumento del aire (de 2% a 6%), lo que mejora la durabilidad. Sin embargo, dosificaciones mayores, aunque reducen más la densidad, comprometen severamente la trabajabilidad, disminuyendo el asentamiento. Se concluye que 0.05% es la dosis idónea al ofrecer el mejor equilibrio entre propiedades. Esta dosificación mejora la resistencia y la estructura interna, manteniendo una trabajabilidad aceptable. El polvo de aluminio representa una solución costo-efectiva, demostrando potencial como alternativa a los aditivos convencionales.

**Palabras clave:** aditivo incorporador de aire, congelamiento y deshielo, contenido de aire, polvo de aluminio, resistencia a la compresión