

Analysis of the behavior of Type I cement with the addition of feldspar: bleeding, heat of hydration and compressive strength

Edwar Sleyter Medina Cabanillas¹; Katia Natal y Carrión Rabanal, Ing.²

¹Universidad Privada del Norte (UPN) Cajamarca, Perú. N00307542@upn.pe

²Universidad Privada del Norte (UPN) Cajamarca, Perú. katia.carrion@upn.edu.pe

Abstract– In the present study, the influence of the use of feldspar as an addition to Portland cement in the preparation of concrete with a fluid consistency design and compressive strength of $f'c=250$ kg/cm² was investigated. The effectiveness of adding feldspar to Type I cement in proportions of 5%, 10% and 15% with respect to the weight of cement was evaluated, analyzing its exudation at room temperature. For this purpose, 12 specimens were prepared which were subjected to the concrete exudation test. Where values were obtained for the Base Concrete (BC)= 0.34%, addition of 5% Feldspar (C5F) = 0.33%, 10% Feldspar (C10F) = 0.326% and 15% Feldspar (C15F) = 0.32%. In addition, the bleeding rates and their associated equations were determined for each dosage CB=0.0132 cm/s, C5F=0.0075 cm/s, C10F=0.0076 cm/s and C15F=0.0054 cm/s. The results showed that a higher addition of feldspar reduces both bleeding and its rate, with C15F being the mixture with the lowest bleeding.

In addition, compressive strength tests were carried out at 3 and 7 days on mortars made with the proportions of feldspar, obtaining a higher resistance of approximately 10% with a dosage of 10% addition.

Feldspar reduces bleeding and heat of hydration, which can minimize thermal cracking in massive structures. For the moment, this addition is defined as a modification of Type I cement, considered as a mixed cement since it shares properties of Type III and Type IV cements, which are high initial strength and low heat of hydration.

This study contributes to the development of more sustainable materials, since the use of feldspar could optimize the performance of concrete in hot climates and reduce the environmental impact by taking advantage of mineral by-products, favoring durability and efficiency in construction. **Keywords:** Concrete, exudation, heat of hydration feldspar.

Analysis of the behavior of Type I cement with the addition of feldspar: bleeding, heat of hydration and compressive strength

Análisis del comportamiento del cemento Tipo I con adición de feldespatos: exudación, calor de hidratación y resistencia a la compresión

Edwar Sleyter Medina Cabanillas¹; Katia Nataly Carrión Rabanal, Ing.²

¹Universidad Privada del Norte (UPN) Cajamarca, Perú. N00307542@upn.pe

²Universidad Privada del Norte (UPN) Cajamarca, Perú. katia.carrion@upn.edu.pe

Resumen—En el presente estudio, se investigó la influencia del uso del feldespatos como adición del Cemento Portland en la elaboración de concreto con un diseño de consistencia fluida y resistencia a la compresión de $f'c=250$ kg/cm². Se evaluó la efectividad de añadir feldespatos al cemento Tipo I en proporciones de 5%, 10% y 15% respecto al peso del cemento, analizando su exudación en temperatura ambiente. Para ello se elaboraron 12 especímenes los cuales se sometieron al ensayo de exudación del concreto. En donde se obtuvieron valores para el Concreto Base (CB)= 0.34%, adición de 5% de Feldespato (C5F) =0.33%, 10% de Feldespato (C10F) =0.326% y 15% de Feldespato (C15F) =0.32%. Asimismo, se determinaron las velocidades de exudación y sus ecuaciones asociadas para cada dosificación CB=0.0132 cm/s, C5F=0.0075 cm/s, C10F=0.0076 cm/s y C15F=0.0054 cm/s. Los resultados mostraron que una mayor adición de feldespatos reduce tanto la exudación como su velocidad, siendo C15F la mezcla con menor exudación.

Además, se realizaron pruebas de resistencia a la compresión a edad de 3 y 7 días en morteros elaborados con las proporciones de feldespatos, obteniendo una resistencia superior de 10% aprox. con dosificación de 10% de adición.

El feldespatos reduce la exudación y el calor de hidratación, lo que puede minimizar la fisuración térmica en estructuras masivas. Por el momento se define esta adición como una modificación del cemento Tipo I considerado como un cemento mixto dado que comparte propiedades de los cementos Tipo III y Tipo IV, los cuales son de alta resistencia inicial y bajo calor de hidratación

Este estudio contribuye al desarrollo de materiales más sostenibles, ya que el uso de feldespatos podría optimizar el desempeño del concreto en climas cálidos y reducir el impacto ambiental al aprovechar subproductos minerales, favoreciendo la durabilidad y eficiencia en la construcción.

Palabras clave: Concreto, exudación, calor de hidratación feldespatos.

I. INTRODUCCIÓN

El concreto es el material de construcción más utilizado en todo el mundo debido a su versatilidad, resistencia y durabilidad. Sin embargo, los desafíos

relacionados con la exudación y el calor de hidratación siguen siendo temas de interés para ingenieros e investigadores. La exudación, que es el proceso mediante el cual el agua se separa de la mezcla de concreto, puede afectar negativamente la cohesión y la integridad estructural del material. Por otro lado, el calor de hidratación, que es el calor generado durante la reacción química del cemento con el agua, puede causar fisuras térmicas que comprometen la durabilidad de las estructuras[1].

El uso de aditivos y adiciones minerales para modificar las propiedades del concreto ha sido ampliamente investigado en los últimos años. Entre las adiciones, se tiene en investigación el feldespatos, clasificado como adición Tipo C por la normativa ASTM C1797 el cual corresponde a un grupo de minerales tectosilicatos que contienen Dióxido de Silicio (SiO₂) y Oxido de Aluminio (Al₂O₃) en su estructura[2], y su incorporación en el concreto podría influir en la microestructura al reaccionar con los elementos químicos pertenecientes al cemento.

La Ref.[3] indica que el cemento se compone de Óxido de Calcio (CaO), el cual reacciona formando compuestos como Alita (C₃S), Belita (C₂S), Celita (C₃A) y Felita (C₄AF); los cuales son los compuestos del Clinker del Cemento Portland, 50-70% C₃S, 15 -30% C₂S, 5-10% C₃A y 5-15% C₄AF. Estos componentes son los responsables de las diferentes tasas de generación de calor de hidratación alta, baja, muy Alta y moderada, respectivamente.

Estudios recientes han mostrado que la incorporación de feldespatos en el concreto puede alterar significativamente sus propiedades. Por ejemplo, en el estudio realizado [4] se encontró que la adición de feldespatos puede aumentar la trabajabilidad del concreto fresco, lo que facilita su colocación y compactación. Sin embargo, este estudio también señaló que la presencia de

feldespato podría incrementar la exudación, lo que plantea preocupaciones sobre la durabilidad del concreto.

La exudación es una propiedad del concreto en estado fresco muy compleja debido a que está influenciado por varios factores específicos, incluyendo la composición de la mezcla, la relación agua-cemento, la presencia de aditivos, y factores ambientales. La exudación excesiva puede llevar a la segregación de los componentes del concreto, resultando en una superficie débil y con menor cohesión interna. Además, la exudación puede reducir la efectividad del curado del concreto, afectando de manera negativa su resistencia y durabilidad a largo plazo[5].

El calor de hidratación es otro aspecto crítico del comportamiento del concreto. Durante la reacción de hidratación, se libera una cantidad significativa de calor, lo que puede provocar un aumento de la temperatura interna del concreto. Un aumento excesivo de temperatura puede causar fisuras térmicas, especialmente en elementos estructurales masivos, donde la disipación del calor es lenta [6]. La incorporación de feldespato podría influir en el calor de hidratación, y es fundamental entender este efecto para diseñar mezclas de concreto adecuadas para aplicaciones específicas.

En el estudio realizado en la Ref. [7] se encontró que el reemplazo parcial de cemento por feldespato mejoró las propiedades de resistencia al calor, lo que sugiere una reducción en el riesgo de fisuración térmica en estructuras masivas. La incorporación de feldespato como aditivo al cemento no solo optimiza la disipación térmica, sino que también puede minimizar los riesgos de fisuración térmica en estructuras masivas, lo que lo convierte en una opción prometedora para aplicaciones en climas cálidos o en proyectos de gran volumen. Además, su uso en el concreto podría ofrecer ventajas en términos de sostenibilidad, al reducir el impacto ambiental asociado a la producción de cemento.

Además de los efectos en la exudación y el calor de hidratación, el feldespato puede influir en otras propiedades del concreto, como la porosidad y la permeabilidad. En la investigación de [8] indicó que la incorporación de este mineral reduce la porosidad del concreto, lo que puede mejorar su resistencia a la penetración de agentes agresivos y aumentar su durabilidad en ambientes severos. Estos hallazgos son prometedores para el uso del feldespato en aplicaciones de infraestructura expuestas a condiciones adversas.

El interés en el uso de feldespato como adición en el concreto también se ha visto impulsado por la búsqueda de soluciones más sostenibles en la construcción. El feldespato es un mineral abundante con más del 60% del volumen de la corteza terrestre y su utilización podría contribuir a reducir la dependencia de materiales más

costosos y menos disponibles[9]. Además, esta adición podría ayudar a reducir la huella de carbono del concreto, ya que el feldespato puede sustituir parcialmente al cemento sin comprometer las propiedades mecánicas del material.

En esta investigación, se llevaron a cabo experimentos detallados para medir la exudación en muestras de concreto elaboradas con cemento Tipo I, con diferentes porcentajes de feldespato (5% - 10% - 15%). Se utilizó un calorímetro de conducción para determinar el calor de hidratación y un método estándar de prueba para medir la exudación. Los resultados obtenidos fueron comparados con muestras de control sin adición para evaluar las diferencias significativas.

Se plantea la hipótesis de que la adición de feldespato reduce tanto el calor de hidratación como la exudación, lo que podría ser beneficioso para la construcción en climas cálidos y en estructuras que requieran grandes cantidades de volumen de concreto. Estos efectos sugieren una mejora en la cohesión del concreto fresco, favoreciendo una mejor calidad superficial y adherencia.

Los resultados preliminares sugieren que el feldespato puede ser una adición viable para el cemento Tipo I, ofreciendo beneficios en la reducción del calor de hidratación y la exudación sin afectar significativamente la resistencia mecánica. Estudios futuros deberán centrarse en evaluar su desempeño en condiciones de campo y su impacto a largo plazo en la durabilidad del concreto.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

En la primera etapa, se determinaron las propiedades del agregado grueso (AG) y del agregado fino (AF). Estas propiedades fueron Contenido de Humedad, Análisis Granulométrico, Peso específico y Absorción, Peso Unitario Suelto y Compactado. Para cada ensayo, se siguieron sus normativas correspondientes

- ❖ Contenido de Humedad: MTC E108 / ASTM D2216 / NTP 339.127.
- ❖ Análisis Granulométrico: MTC 204 / ASTM C136 / NTP 400.012.
- ❖ Peso específico y absorción de agregados finos: MTC E205 / ASTM C128 / NTP 400.022
- ❖ Peso específico y absorción de agregados gruesos: MTC E206 / ASTM C127 / NTP 400.021
- ❖ Peso Unitario de los Agregados: MTC E203 / ASTM C29 / NTP 400.017

TABLA I
PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

Ensayo	AF	AG	UND
Contenido de humedad	9.032	2.913	%
Granulometría (Modulo de Finura)	3.070	7.024	-
TMN	-	3/4"	-
Peso específico	2265.366	2647.164	kg/m ³
Absorción	7.666	1.601	%
Peso Unitario Suelto	1500.301	1353.454	kg/m ³
Peso Unitario Compactado	1635.689	1431.652	kg/m ³

A partir de los resultados de la Tabla I, se optó por realizar el diseño de mezcla considerando los agregados en estado seco, debido al contenido de humedad presente en ellos. Además, con fines de estudio, al tratarse de una propiedad en la que el agua influye directamente en la exudación y, por ende, en el calor de hidratación, no se aplicaron correcciones por humedad y absorción.

En la segunda etapa, se realizó el diseño de mezcla siguiendo el método ACI 211 del American Concrete Institute. Se consideró un diseño sin aire incluido, con una resistencia a la compresión de $f'c = 250$ kg/cm², una consistencia fluida (asentamiento de 6" a 7" o 150mm a 175mm) y el tamaño máximo nominal (TMN) del agregado grueso de (3/4").

TABLA II
CANTIDAD DE MATERIALES NECESARIOS PARA CONCRETO

Materiales	Peso Seco kg/m ³	Volumen m/m
Concreto	431.14	0.145
Agua	216.00	0.216
AG	848.97	0.321
AF	676.47	0.299
Aire	0.02	0.020
PUCF	2172.60	1.000

A partir del diseño base de la Tabla II, se calculó la cantidad de feldespatos correspondiente a las proporciones de 5%, 10% y 15% del peso del cemento. Asimismo, se determinó la cantidad de material a emplear en cada molde, considerando un volumen de 0.009424 m³ y tres especímenes por cada tipo de concreto

TABLA III
CANTIDADES EMPLEADAS EN CADA MOLDE EN KG

Materiales	Base	Feldespatos 5%	Feldespatos 10%	Feldespatos 15%	Total
Cemento	4.267	4.267	4.267	4.267	17.067
Agua	2.138	2.138	2.138	2.138	8.550
AG	8.401	8.401	8.401	8.401	33.606
AF	6.694	6.694	6.694	6.694	26.777
Aire	0.021	0.021	0.021	0.021	0.084
Feldespatos	0.000	0.213	0.427	0.640	1.280

El feldespatos fue extraído de la zona minera 'Lumbay', ubicada en el distrito de Balsas - Chachapoyas - Amazonas. Posteriormente, se envió a los laboratorios de Espectrometría de la Universidad Nacional de Ingeniería y SGS en Callao para

determinar su composición química. Paralelamente, se realizó la trituración de manera artesanal, asegurando una distribución adecuada para su función como agregado fino (AF) y agregado grueso (AG). Finalmente, se llevó a cabo el tamizado en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte, empleando tamices de 3/8" y N°4.

TABLA IV
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE FELDESPATO

Tamiz	Abert.(mm)	Peso Ret. (gr)	%Ret	%Ret. Acum	%Que Pasa
3/8"	9.500	4.267	0.21	0.21	99.79
N° 4	4.750	370.967	18.05	18.26	81.74
Cazoleta	1679.6	1679.767	81.74	100.00	

Para la etapa del ensayo, los materiales fueron pesados según la Tabla III y mezclados manualmente en una carretilla. Además, se registró la temperatura de cada mezcla. El ensayo de exudación del concreto se realizó conforme a las normativas MTC E713 / NTP 339.077 / ASTM C232 / AASHTO T158. Se empleó el Método A de la normativa MTC E713, ya que la máquina de vibración no cumplía con los requisitos establecidos para aplicar el Método B en las normativas mencionadas.

El método consiste en dividir aproximadamente en tres partes el recipiente y aplicar 25 golpes por capa con una varilla de acero, además de golpes externos con un mazo de goma, con el fin de eliminar los vacíos y permitir que el agua suba hacia la parte inferior. En esa zona se colocó una placa de vidrio para evitar la vaporización del agua. Se registró la cantidad de agua exudada y temperatura cada 10 minutos durante los primeros 40 minutos y luego cada 30 minutos hasta que la exudación cesó

Para el cálculo de la exudación se realizó en función de la cantidad de agua utilizada en la mezcla. Empleando la formula:

$$Exudación (\%) = \frac{D}{C} \times 100$$

C: masa de la muestra de concreto (gr)

D: masa del agua exuda en (gr)

Posterior a los ensayos de exudación, se realizaron 24 muestras de mortero según lo señalado en la NTP 334.051, en donde se especifica las cantidades de cemento, agua y arena para realizar el ensayo de resistencia a la compresión. Además, se realizó el cálculo de la cantidad de adición a usar por cada porcentaje, para seguidamente realizar las dosificaciones de mortero correspondientes.

Transcurrido el periodo de 24h o periodo de fraguado de las muestras, se sumergió en agua para su curado, se tomó las medidas de las longitudes de la base perpendicular a la cara donde se aplicará la carga, finalmente se llevó al laboratorio, en donde se le aplicó carga de manera progresiva con una máquina automática de compresión, hasta que las muestras lleguen a fallar.

III. RESULTADOS

A. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE FELDESPATO

MINERALES ENCONTRADOS CON ESPECTRÓMETRO

Elementos	Feldespatos
SiO ₂	59.08
Al ₂ O ₃	27.03
Fe ₂ O ₃	0.11
CaO	0.03
MgO	0.13
Na ₂ O	0.15
1<20	0.53

Nota: Las cantidades de elementos están en (%)

Según lo evidenciado en la Tabla V, el feldespatos ensayado contiene una alta cantidad de sílice (SiO₂) y alúmina (Al₂O₃), lo que lo hace propenso a formar enlaces con el óxido de calcio (CaO), dando lugar a la formación de Alita (C₃S), Belita (C₂S), Celita (C₃A) y Felita (C₄AF), siendo más propenso a generar Alita y Belita.

INFORME ENSAYO DE ELEMENTOS

Elemento	Mineral
Na ₂ O	4.75
K ₂ O	4.93
Al ₂ O ₃	13.29

Nota: Elementos más representativos en (%)

Tomando los porcentajes de la Tabla VI, se asume que se generan enlaces entre el CaO y el Al₂O₃ para formar el componente Celita (C₃A) y si existiera presencia de óxido de hierro (Fe₂O₃), también se formará Felita (C₄AF).

B. RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

TEMPERATURAS PROMEDIO DE LAS MEZCLAS

Dosificación	Temperatura
CB	21.31
C5F	19.84
C10F	18.84
C15F	17.88

Nota: La temperatura está en °C

En la Tabla VII se evidencia que a mayor contenido en porcentaje de feldespatos la temperatura de la mezcla de concreto en estado fresco es menor.

CANTIDAD PROM. DE AGUA EXUDADA POR DOSIFICACIÓN

Medición	ΔT acum	Δvol. Acum.			
		CB	C5F	C10F	C15F
1	600	11.30	13.23	11.63	11.80
2	1200	25.00	24.83	23.00	23.80
3	1800	38.37	36.37	34.50	34.20
4	2400	50.37	47.77	45.90	45.33
5	4800	68.90	58.27	56.20	55.60
6	7200		66.77	66.07	63.47
7	9600				65.07

Nota: La cantidad de agua está en mililitro(ml)

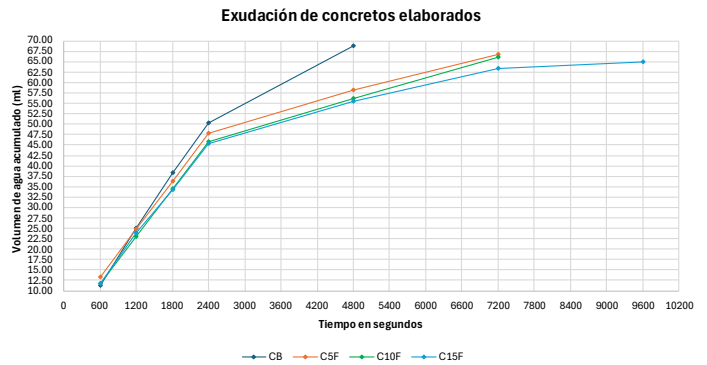


Fig. 1 Proceso de exudación en muestras

En la Fig.1 se puede evidenciar el progreso de exudación promedio en las dosificaciones del concreto, en donde se aprecia la relación entre el tiempo en segundos y el volumen acumulado de agua exudada, en donde se aprecia una menor exudación en el Concreto Base (CB) y una mayor exudación en el Concreto con 15% de Feldespatos.

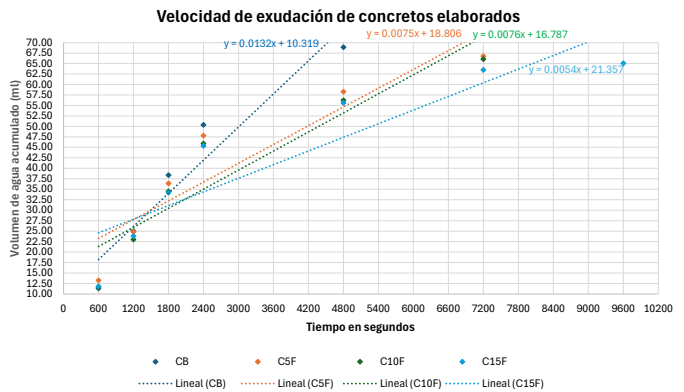


Fig. 2 Ecuaciones de progresión entre dosificaciones

En la Fig.2 se aprecia las ecuaciones generadas por regresión lineal en donde el valor que multiplica a "x" es la velocidad de cada exudación en cm/s.

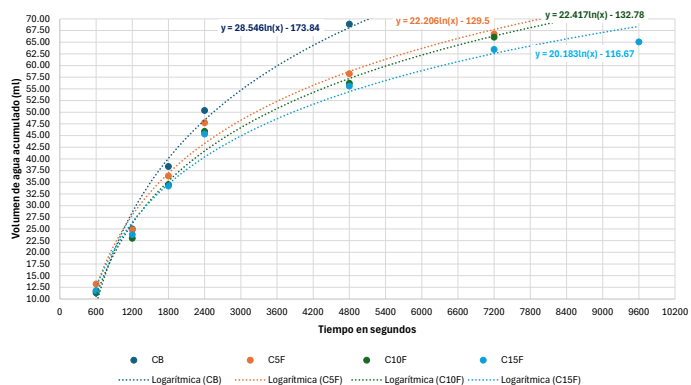


Fig. 3 Ecuaciones de exudación de cada dosificación

En la Fig.3 se puede apreciar las ecuaciones que describen la evolución de la exudación en formato logarítmico, tras un proceso de aproximación matemático.

TABLA IX
RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE EXUDACIÓN

Dosificación	Exudación	Velocidad de exudación	Ecuación de exudación
CB	0.340	0.0132	$y = 28.546\ln(x) - 173.84$
C5F	0.330	0.0075	$y = 22.206\ln(x) - 129.5$
C10F	0.326	0.0076	$y = 22.417\ln(x) - 132.78$
C15F	0.320	0.0054	$y = 20.183\ln(x) - 116.67$

Nota: Las unidades de exudación son (%) y la velocidad son en cm/s

Acorde a la Tabla IX se aprecia una disminución en los parámetros según como la dosificación de feldespato va aumentado en porcentaje.

TABLA X
RESISTENCIA DE MORTEROS

Tipo de mortero	Esfuerzo
MB	138.685
M5F	144.119
M10F	154.941
M15F	141.222

En la Tabla X se muestran los esfuerzos máximos promedio de los morteros dosificados, para una edad de 3 días. En donde se aprecia que los morteros con adición presentan mayor resistencia que el mortero base, de los cuales el mortero con 10% de adición presenta la mayor resistencia, siendo en promedio 10% mayor a la muestra base.

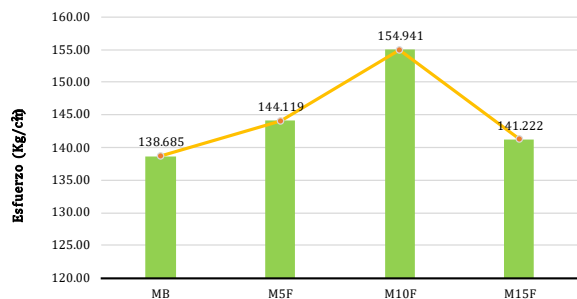


Fig. 4 Resistencia a la compresión de morteros a la edad de 3 días

En la Fig.4 se visualiza una resistencia superior en dosificación de 10%, propiedad que tiende a formar un comportamiento parabólico con 5% y 10% de dosificaciones.

TABLA XI
RESISTENCIA DE MORTEROS

Tipo de mortero	Esfuerzo
MB	155.365
M5F	167.511
M10F	181.620
M15F	164.293

En la Tabla XI se muestran los esfuerzos máximos promedio de los morteros dosificados, para una edad de 7 días. En donde se aprecia que el mortero adicionado con 10% de feldespato sigue siendo el que presenta la mayor progresión de resistencia.

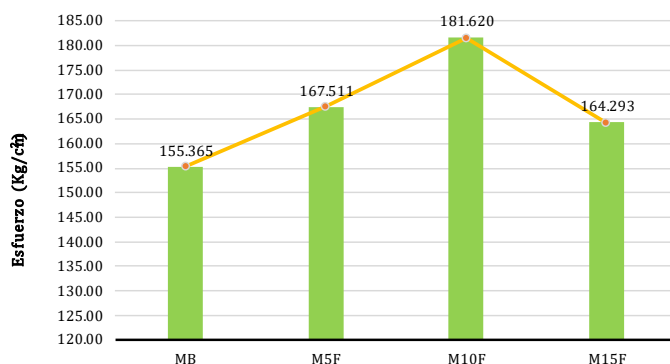


Fig. 5 Resistencia a la compresión de morteros a la edad de 7 días

En la Fig.5 se sigue apreciando la resistencia superior con una dosificación de 10% y evolución de resistencia de 5 y 15% sigue siendo promedio de 3kg/cm².

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Una vez realizado el procesamiento de datos se puede llegar a establecer las siguientes conclusiones.

- Acorde a la tabla IX se determina que la exudación del Concreto Base (CB) es mayor en comparación a las dosificaciones C5F – C10F – C15F en 0.01 – 0.014 – 0.020 respectivamente.
- En la Tabla IX se evidencia que la exudación de la muestra C5F es mayor a la exudación de la C10F en 0.004, pero la velocidad de exudación es mayor en la dosificación C10F, lo cual indica que esta dosificación tiene una reacción química diferente al resto.
- Acorde a las Tablas VIII y IX se afirma que a medida que a medida que el contenido de feldespato aumenta la exudación se va reduciendo y el proceso se realiza con una velocidad menor.
- La resistencia a la compresión de feldespato con 10% es mayor acorde a las Tablas X y XI, esto es similar a

la investigación [10] donde señalan que las mezclas con feldespato presentan mejores propiedades mecánicas, dentro de las cuales está la resistencia a la compresión, esto nos da una advertencia de ganancia de resistencia o mayor cohesión de manera rápida generando posiblemente fisuración por las bajas temperaturas.

- Sabiendo que la exudación y el calor de hidratación son propiedades inversas, se debe presenciar el comportamiento de que, a menor exudación, mayor calor se debe generar. Sin embargo, acorde a las Tablas VII y IX se evidencia que a menor exudación menor temperatura logrando así que el feldespato funcione como agente de control de calor de hidratación y exudación.
- Acorde a los resultados obtenidos en la Tabla VII comparados con la investigación [7] se evidencia que el feldespato agregado actúa como un reductor de calor en las muestras de concreto elaboradas, debido a que con una dosificación del 15% la temperatura del concreto se reduce en un 6.5%.
- Según lo mencionado en [10] el concreto con adición de feldespato debe ser usado en condiciones de suelo y aguas que no presenten sulfatos como Sulfato de Sodio, de Magnesio y Calcio debido a la reacción química que se produce por el contacto con estos, logrando una conversión a un cemento de tipo expansivo generando adversidades estructurales.
- Se recomienda usar balanzas con mayor capacidad a 30kg, para que el volumen de concreto ocupado en los recipientes sea mayor y obtener mayor precisión de datos
- Se tiene limitaciones de carácter mecánico al momento de triturar el material debido a su dureza y resistencia, además de una limitación metodológica por realizar una molienda manual, por ello se sugiere usar una molienda mecánica para facilitar la obtención del material procesado.
- Se recomienda realizar el método B de la normativa de Exudación para comparar si hay variación en comparación con el método A

V. CONCLUSIONES

- Se concluye que a mayor cantidad de adición de feldespato se reduce la exudación y el calor de hidratación.
- Esta investigación es la base para futuras investigaciones que deseen estudiar las propiedades de resistencia calorífica del feldespato, dado que actúa como regulador del calor de hidratación.
- Se logró demostrar con éxito la eficiencia la relación que guarda la exudación con el calor de hidratación del concreto, la cual es directamente proporcionada por el cemento y la relación A/C.

- Dadas las propiedades de exudación observadas y su relación con el calor de hidratación, el cemento Tipo I adicionado con feldespato puede ser introducido en una nueva categoría de cementos adicionados en la NTP 334.090 y ASTM C595, no siendo considerado como Cemento I(Co) debido a que estas normativas solo consideran adiciones minerales a puzolanas, escoria de alto horno y humo de sílice.
- Se concluye que el feldespato genera un efecto frostbite, es decir “quemadura” por frío debido a que al momento de desencofrar las muestras se presentaron fisuras en las muestras de mortero, recomendando su potencial uso en climas cálidos, para asegurar una mejor disposición térmica.
- Se puede afirmar que el cemento Tipo I con feldespato comparte propiedades de los cementos Tipo III y Tipo IV, los cuales son de alta resistencia inicial y bajo calor de hidratación.
- En caso de querer usar este cemento modificado con feldespato como cemento expansivo se debe realizar la dosificación de sulfatos y seguir la normativa MTC E 603.
- Aunque los resultados son positivos, se recomienda investigar la combinación de feldespato con adiciones minerales como cenizas volantes o caliza, para evaluar cómo estos materiales pueden mejorar aún más las propiedades y la sostenibilidad del concreto en diversos entornos.

REFERENCIAS

- [1] ACI 116. (2019). Terminología del cemento y el hormigón. American Concrete Institute, 73 PP.
- [2] Pellant, C., & Pellant, H. (2020). Rocks and Minerals a photographic field guide. In Bloomsbury.
- [3] NTP-334.009, Cementos Portland Requisitos | PDF | Cemento | Hormigón. (n.d.). Retrieved January 29, 2025, from <https://es.scribd.com/document/659787068/NTP-334-009-Cementos-Portland-Requisitos>
- [4] Yahyaee Nojoukambari, T., Sadrmomtazi, A., & Kohani Khoshkbijari, R. (2023). Influence of Feldspar and Ground Granulated Blast-furnace slag as a partial cement replacement on mechanical properties and thermal durability and environmental impacts of cement mortars. *Journal of Cleaner Production*, 398, 136074. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.136074>
- [5] Neville, A. M. (2011). Properties of concrete Fifth Edition. In Notes and Queries (Vol. 199, Issue MAR).
- [6] Jhoel Peña Torres, P. (2020). Manual De Recomendaciones Tecnicas Para Vacados De Concreto Masivo. SENCICO.
- [7] Edris, W. F., Al-Tamimi, M., & Aldelgawy, M. (2022). Implementation Of Feldspar As A Partial Replacement Material In Cement Mortar (Exploration And Application). *Journal of Applied Engineering Science*, 20(1), 177–185. <https://doi.org/10.5937/JAES0-31694>
- [8] Rashad, A. M. M. Y. A. G. M. (2023, March). Preparatory Study about Effect of Feldspar on Properties of Alkali-Activated Slag Concrete. *ACI MATERIALS JOURNAL*.

<https://www.proquest.com/openview/d05a3bf4a729dbc94c0073c353cf8f04/1?pq-origsite=gscholar&cbl=37076>

- [9] W. Griem. (2020). Apuntes Geología General: Los minerales más importantes. <https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap02e.html>
- [10] Kohani Khoshkbijari, R., Fard Samimi, M., Mohammadi, F., & Talebitaher, P. (2020). Effects of Mica and Feldspar as partial cement replacement on the rheological, mechanical and thermal durability of self-compacting mortars. *Construction and Building Materials*, 263, 120149. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.120149>