Horizonte Académico
Revista Multidisciplinaria
Recibido:09/10/2024 Aprobado:10/11/2024

DOI: https://doi.org/10.70208/3007.8245.v4.n2.59

Análisis comparativo de los cementos con aditivos impermeabilizantes

Paola Parisaca Mancilla
pparisacapg@umsa.edu.bo
https://orcid.org/0009-0002-7686-4430
Universidad Mayor de San Andrés
Bolivia-La Paz

Ronald Ramon Castillo Pinto
ing.rcastillo2.cip@gmail.com
https://orcid.org/0009-0008-6723-8669
Universidad Nacional del Altiplano
Perú-Puno

Helarf Ferrer Calsina Condori
hfcalsinac.doc@unaj.edu.pe
https://orcid.org/0000-0002-8565-805X
Universidad Nacional de Juliaca
Perú-Juliaca

Luis Enrique Baca Wiesse
lewiesse@unap.edu.pe
https://orcid.org/0000-0002-5751-9482
Universidad Nacional del Altiplano
Perú-Puno

Raul Ovidio Castillo Pinto
rcastillop@unap.edu.pe
https://orcid.org/0000-0001-8310-7644
Universidad Nacional del Altiplano
Perú-Puno

RESUMEN

La presente investigación muestra el comportamiento de los cementos de la industria Boliviana ECEBOL IP40 y SOBOCE IP40 al usar aditivos impermeabilizantes Pretensa y Sika, cruciales para mejorar las propiedades del cemento en aplicaciones de alta durabilidad. El propósito es comparar el desempeño de estos cementos con aditivos, evaluando su compatibilidad y efecto en propiedades clave como el asentamiento y la resistencia a la compresión, con el objetivo de determinar cómo diferentes dosis de aditivos afectan el comportamiento de las mezclas, asegurando trabajabilidad y solidificación adecuadas. Se realizaron pruebas en diferentes fechas y combinaciones de cemento y aditivos. Se incluyeron la preparación de mezclas con dosificaciones específicas, ensayos de cono de Abrams para medir el asentamiento inicial y su descenso, el moldeo de probetas, monitoreo del fraguado, y la evaluación de la resistencia a la compresión a los 3, 7 y 28 días. Los resultados revelaron variabilidad en el cemento ECEBOL con distintas dosis de aditivos; en las pruebas del 17 y 18 de julio de 2024, las muestras con 0.88% de PMIX I y 2% de impermeabilizante PRETENSA presentaron una textura gelatinosa a las 24 horas, mientras que las pruebas del 24 de abril y 24 de julio de 2024 mostraron texturas más consistentes y normales con ligeras variaciones en las proporciones de aditivos. El estudio concluye que el cemento ECEBOL IP40 tiene inconsistencias con ciertas dosis de aditivos, afectando su fraguado y resistencia, mientras que el cemento SOBOCE IP40 mostró un fraguado más consistente y asentamientos estables.

Palabras clave: aditivo impermeabilizante, cemento, comportamiento físico, fluidificante

Comparative analysis of cements with waterproofing additives

ABSTRACT

This research shows the behavior of cements from the Bolivian industry ECEBOL IP40 and SOBOCE IP40 when using Pretensa and Sika waterproofing additives, crucial to improve cement properties in high durability applications. The purpose is to compare the performance of these cements with additives, evaluating their compatibility and effect on key properties such as slump and compressive strength, with the objective of determining how different doses of additives affect the behavior of the mixtures, ensuring workability and proper solidification. Tests were carried out on different dates and combinations of cement and additives. Included were the preparation of mixtures with specific dosages, Abrams cone tests to measure the initial settlement and its descent, the molding of specimens, monitoring of setting, and the evaluation of compressive strength at 3, 7 and 28 days. The results revealed variability in ECEBOL cement with different doses of additives; In the tests of July 17 and 18, 2024, the samples with 0.88% of PMIX I and 2% of PRETENSA waterproofing presented a gelatinous texture after 24 hours, while the tests of April 24 and July 24, 2024 showed more consistent and normal textures with slight variations in the proportions of additives. The study concludes that ECEBOL IP40 cement has inconsistencies with certain doses of additives, affecting its setting and resistance, while SOBOCE IP40 cement showed more consistent setting and stable settlement results.

Keywords: cement, fluidizing, physical behavior, waterproofing additive

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar Todo el contenido de Horizonte Académico- Revista Científica, publicado en este sitio están disponibles bajo Licencia Creative Commons

INTRODUCCIÓN

El uso de aditivos en el cemento es crucial para mejorar sus propiedades y adaptarlo a diversas aplicaciones. Estos aditivos, especialmente los impermeabilizantes, juegan un papel esencial en la mejora de la durabilidad y resistencia del cemento, lo que es fundamental para la construcción de infraestructuras que deben resistir condiciones ambientales adversas. Este estudio se enfoca en evaluar la compatibilidad y el comportamiento del cemento ECEBOL IP40 con aditivos impermeabilizantes de Pretensa y Sika, comparándolos con el cemento SOBOCE IP40.

El objetivo principal es identificar cómo diferentes dosis de aditivos afectan el desempeño de las mezclas en términos de asentamiento y fraguado. El análisis de estos factores es vital, ya que el asentamiento adecuado asegura la trabajabilidad del cemento durante la construcción, mientras que el fraguado controlado garantiza el tiempo suficiente para la colocación y la adecuada solidificación de la mezcla.

Además, este estudio no solo busca evaluar el rendimiento físico de los cementos con aditivos, sino también proporcionar una comprensión más profunda sobre la compatibilidad de estos aditivos con diferentes tipos de cemento. La compatibilidad es un aspecto crucial, ya que influye directamente en la integridad estructural y la longevidad de las construcciones.

Mediante una metodología cuantitativa, se recopilarán y analizarán datos numéricos que permitirán realizar comparaciones precisas entre las diferentes mezclas. Este enfoque garantiza la objetividad y la reproducibilidad de los resultados, facilitando su aplicación en contextos reales de construcción. Además, se espera que los hallazgos de esta investigación contribuyan al desarrollo de nuevas tecnologías y prácticas en el sector de la construcción, optimizando el uso de aditivos impermeabilizantes para mejorar la calidad y durabilidad de las estructuras cementicias.

Este estudio aspira a servir como una guía para ingenieros y profesionales de la construcción, proporcionando información valiosa sobre la selección y dosificación adecuada de aditivos impermeabilizantes. Al comprender mejor cómo estos aditivos interactúan con diferentes tipos de cemento, se podrán tomar decisiones informadas que resulten en estructuras más resistentes y duraderas, beneficiando así tanto a los constructores como a los usuarios finales de estas edificaciones.

En concordancia, las variaciones de aditivos, fibras en la mezcla de concreto tienen una influencia directa en la retracción plástica del concreto (Gupta & Biparva, 2017, p. 17). Cabe destacar, que el incremento en el porcentaje de cualquier tipo de aditivo impermeabilizante, influirá en el comportamiento del concreto y su resistencia inicial del concreto, cambiando su estructura físico-química, generando una disminución en el tiempo de fraguado y afectando su resistencia final de la misma (Montoya, Cadavid & Gomez, 2009, p. 39). Por otro lado, es importante mencionar, que la cantidad de agua que reacciona con el cemento sin el aditivo impermeabilizante, tiene un comportamiento diferente al que contiene el aditivo impermeabilizante, esto es debido a la reacción química del aditivo con la pasta del cemento, una mayor cantidad de agua para mantener la consistencia normal resultara en una menor resistencia del concreto (Ortiz, Aguado & Roncero, 2009, p. 21).

Adicionalmente, es importante realizar ensayos que determinen el índice de evaporación directa de las muestras de concreto, que está en función de la exudación, es decir, de la perdida de humedad en las muestras, se debe considerar el tamaño de las muestras, para tener una medición precisa de la perdida de humedad de las mismas (Gupta & Biparva, 2017, p. 23). También, uno de los factores y/o variables más importantes a controlar, al momento de fabricar el concreto es su resistencia a la compresión, lo cual se realiza tomando probetas estándar y se ensayan a la edad establecida en el proyecto (Fernández, Morales & Soto, 2016, p. 197).

Por otro lado, aplicar un producto con mayor desempeño, permite economizar en la aplicación y mantenimiento de las construcciones. Además, las características cambian de producto a producto, por ende, los fabricantes invirtieron mucho en investigaciones de desarrollo de nuevos productos, buscando el beneficio de la durabilidad en las construcciones, con costos reducidos (Kmick et al., 2019, p. 9). Cabe destacar que es necesario investigar estos temas para determinar la viabilidad de utilizar estos aditivos. Aunque se emplean con éxito en otros países, no se ha superado la resistencia tradicional a usar mayores dosis de cemento en lugar de estos aditivos impermeabilizantes (Carvajal et al., 2005, p. 26).

De la misma forma, la durabilidad del concreto armado está estrechamente vinculada a la corrosión de sus armaduras. La corrosión de estas armaduras provoca tres efectos principales en el concreto armado:

fisuración y desprendimiento del concreto debido al aumento de volumen del acero, reducción de la sección efectiva de la armadura y, finalmente, pérdida de adherencia entre el acero y el concreto, lo cual es esencial para una adecuada transmisión de cargas (Carvajal et al., 2005, p. 86).

Por otra parte, si la corrosión del acero inducida por cloruros se considera refuerzo en el concreto, los factores que podrían verse afectados por el inhibidor son: la velocidad de ingreso de cloruros del ambiente, el grado en que estos cloruros están unidos químicamente o físicamente atrapados en la cubierta del concreto, la concentración de cloruros que el acero puede tolerar sin rotura de la película pasiva inherente y la tasa de entrada de oxígeno disuelto en el concreto (Hansson, Mammoliti & Hope, 1998, p. 1775).

Materiales y métodos

El presente estudio se enmarca en una investigación de naturaleza comparativa, aplicada y descriptiva, situada en el nivel de investigación aplicada. Su objetivo es explorar, intervenir, desarrollar y concebir nuevas soluciones tecnológicas para el sector de la construcción (Dankhe, 1986, p. 19). El diseño de la investigación es de tipo experimental, en otras palabras, se documentan los acontecimientos tal como se presentan para luego analizarlos (Hernández, 2014, p. 152). El enfoque de esta investigación es cuantitativo, ya que implica el análisis de datos numéricos. Además, la investigación cuantitativa se destaca por el desarrollo de programas informáticos (Hernández, 2014, p. 199).

Dentro de los materiales, para realizar el análisis comparativo se tiene lo siguiente:

- Cemento ECEBOL IP40 (precintos 7866, 7868, 7581)
- Cemento SOBOCE IP40
- Aditivo superfluidificante PMIX1
- Aditivo impermeabilizante Pretensa
- Protocolo Experimental

Para garantizar la representatividad y confiabilidad de los resultados, se establecieron criterios claros para la selección de los lotes de cemento utilizados en este estudio. Los lotes fueron seleccionados considerando los siguientes aspectos:

– Se priorizaron lotes recientes para minimizar posibles alteraciones en las propiedades del cemento debido al almacenamiento prolongado.

– Se utilizaron lotes representativos de los productos que están disponibles en el mercado local, para garantizar que los resultados sean aplicables en escenarios reales de construcción.

Así mismo, se realizaron múltiples pruebas en distintas fechas utilizando varias combinaciones de cemento y aditivos. Para cada prueba, se prepararon y moldearon muestras, siguiendo estas etapas:

- Preparación de la mezcla con la dosificación específica de cemento y aditivos.
- Ensayo de cono de Abrams para medir el asentamiento inicial y su descenso en el tiempo.
- Moldeo de probetas y monitoreo del fraguado.
- Evaluación de la resistencia a la compresión a los 3, 7 y 28 días.
- Ensayo de Cono de Abrams

Las pruebas de asentamiento se llevaron a cabo para determinar la variación en la fluidez de las mezclas en función del tiempo.

Dentro de este marco, el ACI define el cemento como un material cohesivo utilizado en la construcción, formado principalmente por compuestos de calcio, silicio, aluminio y hierro, que, al mezclarse con agua, endurece y proporciona resistencia estructural (ACI, 2011, p. 45).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Prueba de laboratorio de fecha 17/07/2024.

- Cemento ECEBOL (precinto 7866)
- PMIX1: 0.88%
- Aditivo impermeabilizante Pretensa: 2%

Tabla 1. Cuadro de dosificaciones prueba 17/07/2024.

TIPO CEMENTO	Kg [3/4¨]/ m^3	Kg [3/8¨]/ m^3	ARENA [Kg/ m^3]	CEMENTO [Kg/m^3]	AGUA [Kg/ m^3]	ADITIVO 1 [Kg/m^3]	ADITIVO 2 [Kg/m^3]	ADITIVO 1 [%]	ADITIVO 2 [%]	RELACION a/c
ECEBOL IP-40	711.00	287.00	928.00	330.00	125.00	2.90	6.60	0.88	2.00	0.377

Tabla 2. Resultados del Ensayo de Cono de Abrams

PRUEBA ECEBOL IP40 7866	
TIEMPO (min)	CONO (cm)
0	2.5
10	25.0
40	10.0

Figura 1. *Descenso de asentamiento*

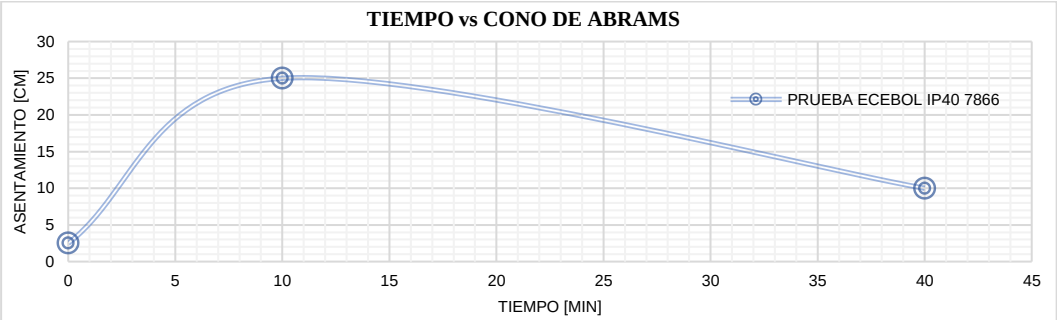


Tabla 3. Resultados de pruebas

N° DE DOSIFICACIÓN	CÓDIGO DE PROBETA	PRUEBA	FECHA MOLDEO	ROTURA (EDAD)	FECHA ROTURA	TENSIÓN OBTENIDA (MPA)	TENSIÓN PROM.	TENSIÓN PROYECTADA 28 DÍAS	TIPO DE HORMIGÓN	OBS.
PBA- 60	PCE0 267	PRUEBA ECEBOL IP 40 7866	17/7/2024	3	20/7/2024	0	0	0	H-21	C=330 PMIX 0.88% Y IMP 2%
PBA- 60	PCE0 268	PRUEBA ECEBOL IP 40 7866	17/7/2024	3	20/7/2024	0			H-21	C=330 PMIX 0.88% Y IMP 2%

PBA- 60	PCE0 269	PRUEBA ECEBOL IP 40 7866	17/7/2024	7	24/7/2024	9.06	8.95	11.93	H-21	C=330 PMIX 0.88% Y IMP 2%
PBA- 60	PCE0 270	PRUEBA ECEBOL IP 40 7866	17/7/2024	7	24/7/2024	8.83			H-21	C=330 PMIX 0.88% Y IMP 2%
PBA- 60	PCE0 271	PRUEBA ECEBOL IP 40 7866	17/7/2024	28	14/8/2024	31.23	31.96	31.96	H-21	C=330 PMIX 0.88% Y IMP 2%
PBA- 60	PCE0 272	PRUEBA ECEBOL IP 40 7866	17/7/2024	28	14/8/2024	32.68			H-21	C=330 PMIX 0.88% Y IMP 2%

Figura 2. *Rotura a 3, 7 y 28 días*



Después de 40 minutos, el asentamiento disminuye de 25 cm a 10 cm. Las muestras no fraguaron completamente después de 24 horas y mostraron 0 MPa de resistencia a los 3 días. A los 7 días, las resistencias fueron de 9.06 y 8.83 MPa, proyectando a 28 días 11.93 MPa.

Prueba de laboratorio de fecha 18/07/2024

- Cemento ECEBOL (precinto 7868)
- PMIX1: 0.88%
- Aditivo impermeabilizante Pretensa: 2%

Tabla 4. Cuadro de dosificaciones prueba 18/07/2024

TIPO CEMENTO	Kg [3/4¨]/m³	Kg [3/8¨]/m³	ARENA [Kg/m³]	CEMENTO [Kg/m³]	AGUA [Kg/m³]	ADITIVO 1 [Kg/m³]	ADITIVO 2 [Kg/m³]	ADITIVO 1 [%]	ADITIVO 2 [%]	RELACION a/c
ECEBOL IP-40	706	291	965	330	115	2.90	6.60	0.88	2.00	0.350

Tabla 5. Resultados de asentamientos de las pruebas 18/07/2024

TIEMPO (min)	CONO (cm)
0	3.50
10	23.00
45	19.00
80	3.00

Resultados del Ensayo de Cono de Abrams

Figura 3. *Descenso de asentamiento*

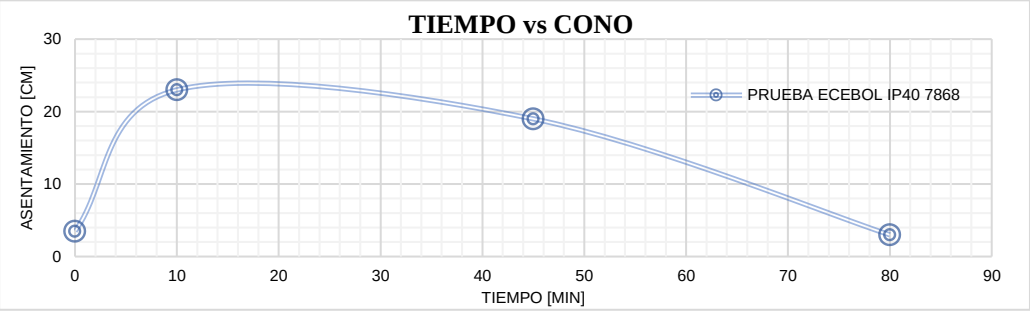


Tabla 6. Resultados de pruebas

N° DE DOSIFICACIÓN	CÓDIGO DE PROBETA	PRUEBA	FECHA MOLDEO	ROTURA (EDAD)	FECHA ROTURA	TENSIÓN OBTENIDA (MPA)	TENSIÓN PROMEDIO	TENSIÓN PROYECTADA 28 DÍAS	TIPO DE HORMIGÓN	OBS.
PBA- 61	PCE 0273	PRUEBA ECEBOL IP 40 7868	18/7/2024	3	21/7/2024	0	0	0	H-21	C=330 PMIX 0.88% Y IMP 2%
PBA- 61	PCE 0274	PRUEBA ECEBOL IP 40 7868	18/7/2024	3	21/7/2024	0			H-21	C=330 PMIX 0.88% Y IMP 2%

PBA- 61	PCE 0275	PRUEBA ECEBOL IP 40 7868	18/7/2024	7	25/7/2024	10.92	10.14	13.52	H-21	C=330 PMIX 0.88% Y IMP 2%
PBA- 61	PCE 0276	PRUEBA ECEBOL IP 40 7868	18/7/2024	7	25/7/2024	9.36			H-21	C=330 PMIX 0.88% Y IMP 2%
PBA- 61	PCE 0277	PRUEBA ECEBOL IP 40 7868	18/7/2024	28	15/8/2024	26.05	28.97	28.97	H-21	C=330 PMIX 0.88% Y IMP 2%
PBA- 61	PCE 0278	PRUEBA ECEBOL IP 40 7868	18/7/2024	28	15/8/2024	31.89			H-21	C=330 PMIX 0.88% Y IMP 2%

Figura 4. *Rotura a 3, 7 y 28 días*

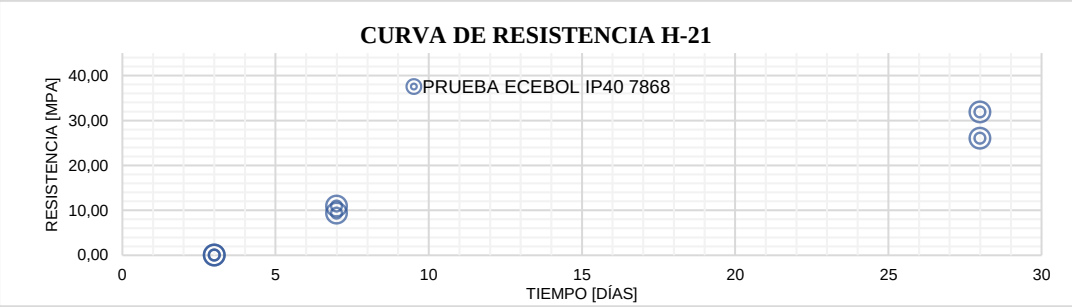


Figura 5. *Probetas de la prueba de fecha 18/07/2024*



El comportamiento fue similar a la prueba anterior, con fraguado incompleto después de 24 horas. A los 7 días, las resistencias fueron de 10.92 y 9.36 MPa, proyectando a 28 días 13.52 MPa.

Prueba del 24/07/2024

En la dosificación base se redujo la cantidad de agua introducida a la mezcla de SOBOCE, esto debido a que se pudo observar que ya la mezcla presentaba un cono de 2[cm] aproximadamente y además que en la prueba realizada con el CEMENTO ECEBOL (primera prueba) se partió de un cono inicial de 2.5 Cemento ECEBOL (precinto 7581).

Dosificación:

- Cemento SOBOCE IP40
- PMIX1: 0.85%

Aditivo impermeabilizante Pretensa: 2%

Tabla 7. Cuadro de dosificaciones prueba 24/07/2024

TIPO CEMENTO	Kg [3/4¨]/m³	Kg [3/8¨]/m³	ARENA [Kg/m³]	CEMENTO [Kg/m³]	AGUA [Kg/m³]	ADITIVO 1 [Kg/m³]	ADITIVO 2 [Kg/m³]	ADITIVO 1 [%]	ADITIVO 2 [%]	RELACION a/c
SOBOCE IP-40	713	290	965	330	76	2.81	6.60	0.88	2.00	0.230
ECEBOL IP-40	713	290	965	330	82	2.81	6.60	0.88	2.00	0.250

Tabla 8. Resultados de asentamientos de pruebas 24/07/2024

PRUEBA SOBOCE IP40 4182480		PRUEBA ECEBOL IP40 7868	
TIEMPO (min)	CONO (cm)	TIEMPO (min)	CONO (cm)
0	2.5	0	2.50
18	23.5	18	25.00
48	23	48	23.00
78	21	78	22.00
108	17	108	15.00
138	13.5	138	10.00

La mezcla con cemento SOBOCE mostró un fraguado normal después de 24 horas, mientras que la mezcla con cemento ECEBOL presentó mayor humedad aparente, pero un fraguado aceptable.

Figura 6. *Resultados de asentamientos de las Pruebas realizadas el 24/07/2024*

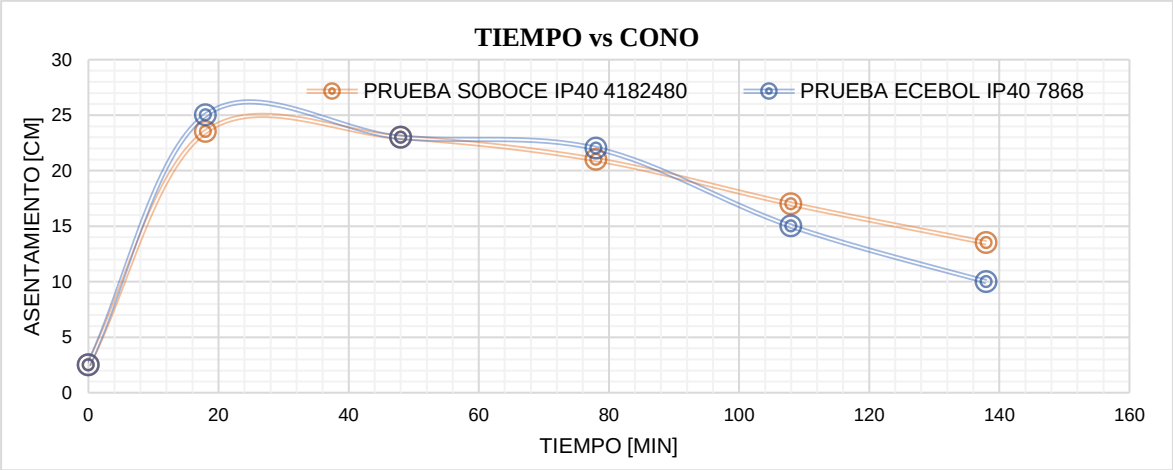


Figura 7. *Pruebas 24/07/2024, lado izquierdo ECEBOL y lado derecho SOBOCE*



En la figura 6, se puede observar que el cemento ECEBOL presenta una variación de 3.5 cm con referente al cemento SOBOCE tomando los mismos tiempos para la realización del ensayo de Abrahams. En cuanto a los resultados de resistencias aun no contamos con resultados.

Estos resultados y el curado normal de ambas muestras nos llevan a asumir que la combinación de los aditivos IMP y PMIX 1 con un porcentaje igual o mayor al 0.88% del aditivo PMIX 1 genera la incompatibilidad con el cemento ECEBOL.

Prueba del 25/07/2024

Una vez examinado el comportamiento de las mezclas realizadas en fecha 24/07/24 ambas pruebas con cemento SOBOCE y ECEBOL respectivamente y además utilizando el aditivo superfluidificante PMIX 1 al 0.85% y aditivo IMPERMEABILIZANTE de Pretensa 2% presentando un fraguado normal.

Como se menciona anteriormente, esto nos lleva a asumir que la combinación de estos dos aditivos (impermeabilizante y PMIX 1), con una proporción mayor o igual al 0.88% del aditivo PMIX 1, genera la incompatibilidad y problemas de fraguado de las mezclas con el cemento ECEBOL.

Para verificar esta hipótesis, se decide proceder a incrementar las proporciones de aditivo PMIX 1 al 0.90% con el objetivo de verificar que, a cierta proporción de este aditivo en combinación con el aditivo impermeabilizante de Pretensa al 2%, el cemento ECEBOL no inicia su fraguado normal.

Tabla 9. Cuadro de dosificaciones prueba 25/07/2024

TIPO CEMENTO	Kg [3/4¨]/m³	Kg [3/8¨]/m³	ARENA [Kg/m³]	CEMENTO [Kg/m³]	AGUA [Kg/m³]	ADITIVO 1 [Kg/m³]	ADITIVO 2 [Kg/m³]	ADITIVO 1 [%]	ADITIVO 2 [%]	RELACION a/c
ECEBOL IP-40	704	290	958	330	98	2.97	6.60	0.90	2.00	0.296

Figura 8. *Prueba 25/07/2024*



- Cemento ECEBOL (precinto 7868)
- PMIX1: 0.90%
- Aditivo impermeabilizante Pretensa: 2%
- Resultados del Ensayo de Cono de Abrams

El descenso de asentamiento fue aceptable y el fraguado relativamente normal, aunque las muestras mostraron bastante humedad.

Tabla 10. Resultados de asentamientos de pruebas 25/07/24

PRUEBA ECEBOL IP40 7868	
TIEMPO (min)	CONO (cm)
0	2.5
18	23.5
48	23
78	21
108	20
138	12

Figura 9. *Resultados de asentamientos de las Pruebas realizadas el 24/07/2024*

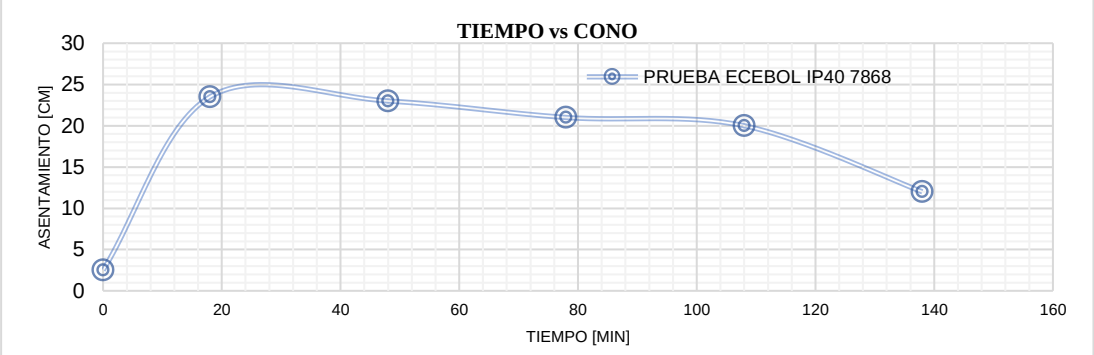


Tabla 11. Cuadro de estado de probetas a las 24 horas de desmoldar

CEMENTO	FECHA DE LOTE	FECHA DE ENSAYO	ADITIVOS UTILIZADOS	ESTADO DE PROBETAS A LAS 24 HRS DE DESMOLDAR
ECEBOL	11/07/2024	17/07/2024	Fluidificante PMIX I al 0.88% e impermeabilizante PRETENSA al 2%	TEXTURA GELATINOSA
ECEBOL	11/07/2024	18/07/2024	Fluidificante PMIX I al 0.88% e	TEXTURA GELATINOSA

			impermeabilizante PRETENSA al 2%	
ECEBOL	15/07/2024	24/04/2024	Fluidificante PMIX I al 0.85% e impermeabilizante PRETENSA al 2%	TEXTURA NORMAL
ECEBOL	15/07/2024	24/07/2024	Fluidificante PMIX I al 0.90% e impermeabilizante PRETENSA al 2%	TEXTURA GNORMALMENTE HUMEDA

Durante la revisión de los trabajos, se verificó que en las fechas 15/07/2024 y 17/07/2024 se utilizaron los cementos correspondientes a los precintos 7866 y 7867. En estas fechas, se detectaron anomalías en las mezclas vertidas, presentándose un retardo en el fraguado después de 24 horas. Inicialmente, estos problemas se atribuyeron a condiciones climáticas y variaciones de temperatura. Sin embargo, después de 48 horas, las estructuras mostraron una mejora significativa, y los testigos sometidos a la prueba de compresión a los 7 días presentaron los resultados esperados.

Las pruebas indican que el cemento ECEBOL tiene variabilidad en su comportamiento cuando se combina con los aditivos PMIX1 y Pretensa, especialmente en dosis iguales o superiores al 0.88% de PMIX1. Este comportamiento inconsistente resulta en problemas de fraguado y menor resistencia comparado con el cemento SOBOCE, debiendo atribuirse a factores relacionados con la composición y la interacción con los aditivos utilizados.

Análisis crítico: Las muestras de cemento ECEBOL presentaron texturas gelatinosas y un fraguado incompleto en varias pruebas. Este comportamiento sugiere una posible incompatibilidad química entre el cemento y los aditivos utilizados, particularmente a dosis mayores o iguales al 0.88% de PMIX1. Por otra parte, el cemento SOBOCE demostró un fraguado más uniforme y consistentemente mejores resultados en el ensayo de asentamiento. Según el análisis de resultados, se evidencia una composición más estable, con una mejor reacción química de los aditivos impermeabilizantes. Cabe destacar, ambos cementos fueron sometidos a condiciones ambientales similares; las variaciones observadas en ECEBOL sugieren que este material es más sensible a factores como la humedad y la temperatura. Asimismo, la

variabilidad en el rendimiento de ECEBOL también puede deberse a diferencias intrínsecas entre los lotes utilizados. Esto subraya la importancia de asegurar un suministro homogéneo de cemento para aplicaciones críticas.

CONCLUSIONES

Las pruebas realizadas mostraron un comportamiento variable entre las diferentes muestras de cemento. Los resultados y las variaciones observadas entre las pruebas sugieren que el cemento ECEBOL de diferentes lotes presentó inconsistencias. Esto se debe principalmente a que se tomaron muestras de cemento de distintos lotes, utilizando las mismas muestras de aditivos para todas las pruebas.

En los ensayos realizados con cemento ECEBOL, se evaluaron diversas mezclas con diferentes aditivos y fechas de lote y ensayo. En las pruebas del 17 y 18 de julio de 2024, utilizando un fluidificante PMIX I al 0.88% e impermeabilizante PRETENSA al 2%, se observó una textura gelatinosa en las probetas a las 24 horas de ser desmoldadas. En la prueba del 24 de abril de 2024, con un fluidificante PMIX I al 0.85% e impermeabilizante PRETENSA al 2%, la textura fue normal. Finalmente, en la prueba del 24 de julio de 2024, utilizando un fluidificante PMIX I al 0.90% e impermeabilizante PRETENSA al 2%, se registró una textura normalmente húmeda en las probetas.

Para garantizar la fiabilidad de los resultados y asegurar la calidad en el uso de aditivos impermeabilizantes, es esencial realizar estudios adicionales. Estos estudios deben enfocarse en obtener un suministro consistente de cemento y en controlar las variables externas que pueden influir en el comportamiento del fraguado y asentamiento. Solo así se podrá establecer un protocolo confiable para la implementación de aditivos en el cemento, asegurando un rendimiento óptimo y uniforme en todas las aplicaciones.

Los resultados de este estudio aportan información valiosa para aplicaciones constructivas, especialmente en proyectos que requieren alta durabilidad y resistencia al agua. Para lo cual se tienen que tomar las consideraciones siguientes: Se debe considerar cuidadosamente la compatibilidad entre los aditivos y el tipo de cemento utilizado para evitar problemas de fraguado y resistencia; en proyectos donde se utilice cemento ECEBOL, es recomendable limitar la dosis de PMIX 1 a menos del 0.88% o

evaluar alternativas de aditivos. Asimismo, este estudio confirma que la combinación adecuada de aditivos impermeabilizantes puede mejorar significativamente la durabilidad de estructuras expuestas a ambientes húmedos o agresivos, como es el caso de puentes, túneles y estructuras marinas. Con base en los resultados obtenidos, se recomienda desarrollar protocolos específicos para la dosificación y aplicación de aditivos en diferentes tipos de cemento. Estos protocolos podrían ser implementados como estándares en el sector de la construcción. También, este estudio respalda el uso de aditivos como una alternativa viable para reducir costos y aumentar la durabilidad de las estructuras, promoviendo su adopción en la industria.

En síntesis, este trabajo refuerza la importancia de realizar estudios previos de compatibilidad entre cementos y aditivos antes de su aplicación en proyectos constructivos. Asimismo, aporta información clave para optimizar las propiedades del concreto, contribuyendo al desarrollo de estructuras más seguras, duraderas y sostenibles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Concrete Institute. (2011). *ACI Concrete Terminology (ACI CT-11).* Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.

Carvajal, A. M.; Venegas, R.; Vera, R.; Guzmán, F. (2008). *Estudio de Aditivos Inhibidores de Corrosión para Estructuras de Hormigón Armado. Análisis Cualitativo y Cuantitativo de Penetración de Cloruros* Revista de la Construcción, vol. 7, núm. 2, pp. 84-92. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile

Carvajal, A. María; Guzmán, Francisca. (2005). *Estudio de aditivos inhibidores de corrosión para estructuras de hormigón armado*. *Análisis de potencial de corrosión*. Revista de la Construcción, vol. 4, núm. 2, diciembre, 2005, pp. 25-29. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

C.M. Hansson, L. Mammoliti And B.B. Hope. (1998). *Corrosion inhibitors in concrete—Part I: The principles*. Department of Mechanical Engineering, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada. Department of Civil Engineering, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada.

DOI: https://doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00142-2

Fernández, A.; Morales, J.; Soto, F. (2016). *Evaluación del comportamiento de la resistencia a compresión del concreto con la aplicación del aditivo superplastificante PSP NLS, para edades mayores que 28 días.* Revista INGENIERÍA UC, vol. 23, núm. 2, pp. 197-203. Universidad de Carabobo, Carabobo, Venezuela.

Gupta, R. y Biparva, A. (2017). *¿Los aditivos de impermeabilización cristalina afectan al comportamiento de retracción plástica restringida del concreto?*

DOI: http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i1.172

Hernández-Sampieri y otros. (2014). *Metodología de la investigación*. D.F.: McGRAW-HILL. 978-1-4562-2396-0.

Kmick, R. S.; Gazolla, M. G.; Da Silva Junior, R. M.; Capraro, A. P. B.; Moreira, K. A. W. (2021). *Análisis comparativo de la efectividad y eficiencia de tres sistemas de impermeabilización*. Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, vol. 11, núm. 1, pp. 34-47. Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, A. C. México

DOI: https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.509

Montoya, Yirson; Cadavid, Albeiro; Astrid Gómez, Maryory. (2009). *Comportamiento mecánico y de fraguado de morteros de cemento pórtland gris Tipo III con aditivos*, Revista EIA, núm. 11, julio, 2009, pp. 39-49, Escuela de Ingeniería de Antioquia, Colombia

Ortiz, J.A.; Aguado, A.; Roncero, J.; Zermeño, M.E. (2009). *Influencia de la temperatura ambiental sobre las propiedades de trabajabilidad y microestructurales de morteros y pastas de cemento.* Concreto y Cemento. Investigación y Desarrollo, vol. 1, núm. 1, julio-diciembre, 2009, pp. 2-24. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. Distrito Federal, México.

R. Gupta, A. Biparva. (2017). *"Do crystalline water proofing admixtures affect restrained plastic shrinkage behavior of concrete"*, Revista ALCONPAT, 7 (1), pp. 15-24, DOI: http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i1.172