

LA AZÚCAR EN MEZCLAS DE CEMENTO, ¿ADITIVO RETARDANTE O ACELERANTE?

SUGAR IN CEMENT MIXTURES, A RETARDING OR ACCERELATING ADDITIVE?

Ruiz-García M., García-de la Cruz D.B., Pérez-Morales Z., Mora-Ortiz R.S. *, Díaz-Alvarado S.A.,

División Académica de Ingeniería y Arquitectura (DAIA), Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez km 1. Cunduacán, Tabasco, México.

*rene.mora@ujat.mx

Artículo Científico

Publicado: 17 de diciembre 2024

RESUMEN

El tiempo de fraguado en las mezclas a base de cemento es el tiempo que le toma a la mezcla endurecerse debido a la hidratación del cemento cuando está en contacto con el agua. Este tiempo puede ser cambiado con la ayuda de aditivos retardantes o acelerantes según se requiera en obra. Esta investigación tuvo por objetivo analizar desde el punto de vista mecánico, el efecto de la adición de azúcar en el tiempo de fraguado de pastas de cemento. Para lograr lo anterior, se preparó una mezcla de control (cemento + agua) y se midió su tiempo de fraguado inicial y final, así como su resistencia a la compresión simple y densidad en estado seco. Tomando como base la dosificación de la muestra de control se fabricaron muestras añadidas con diferentes porcentajes de azúcar diluida en agua destilada. Para cada muestra se evaluaron las mismas propiedades que la muestra de control. Los resultados mostraron que añadir azúcar a las pastas de cemento tiene efectos retardantes si se agrega menos de 1.0 %, y efectos acelerantes si se sobrepasa este porcentaje. Para porcentajes mayores a 1.4 % el fraguado

es tan rápido que no permite fabricar muestras. En todos los casos se observó que añadir azúcar a las pastas de cemento es perjudicial para la integridad estructural de las muestras y su resistencia.

Palabras clave: Azúcar; Cemento; Tiempo de fraguado; Resistencia.

ABSTRACT

Setting time in cement-based mixtures is the time it takes for the mixture to harden due to the hydration of the cement when it is in contact with water. This time can be changed with the help of retarding or accelerating additives as required on site. This research aimed to analyze, from a mechanical point of view, the effect of the addition of sugar on the setting time of cement pastes. To achieve the above, a control mixture (cement + water) was prepared and its initial and final setting time, as well as its simple compressive strength and density in the dry state, were measured.

Based on the control sample's formulation, the additional samples were created with varying percentages of sugar dissolved in distilled water. For each sample the same properties as the control sample were

evaluated. The results showed that adding sugar to cement pastes has retarding effects if less than 1.0% is added and accelerating effects if this percentage is exceeded. For percentages greater than 1.4%, the setting is so rapid that it does not allow samples to be manufactured. In all cases it was observed that adding sugar to cement pastes is detrimental to the structural integrity of the samples and their resistance.

Keywords: Sugar; Cement; Setting time; Strength.

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción es uno de los principales sectores de la economía mexicana y la más importante en cuanto a valor de mercado se refiere en toda América Latina. Reportes presentados por *Statista Research Department* [1], que es una de las plataformas globales de datos e inteligencia empresarial más importantes del mundo, manifestaron que el ramo de la construcción contribuyó con alrededor del 6.8 % del producto interno bruto (PIB) de México. En este sector, el concreto y el mortero de albañilería son los materiales más utilizados en el mundo debido a su resistencia, durabilidad, versatilidad y a que son relativamente sencillos de elaborar [2], [3]. Otro factor que contribuye a su uso tan amplio es que los materiales que se utilizan en su elaboración son de fácil acceso. La proporción de los componentes del concreto y mortero depende de la función que éstos van a desempeñar, la cual va desde los aspectos más básicos como pisos para casas de interés social hasta otros de mayor

complejidad como presas hidráulicas y puentes.

Un elemento indispensable que se utiliza en la fabricación de morteros y concretos es el cemento. Este material inorgánico se utiliza como conglomerante de los agregados (arena y grava), el cual está compuesto por clinker, yeso y determinados aditivos químicos [4]. Una característica del cemento es que es hidráulico, lo que implica que al mezclarse con el agua se presentan reacciones químicas (hidratación) que producen el fraguado de la mezcla (endurecimiento y pérdida de plasticidad).

El tiempo de fraguado es el periodo que tarda el proceso de endurecimiento del concreto o mortero debido a la hidratación del cemento que activa sus componentes químicos. El proceso de fraguado incluye un estado en el que la mezcla de mortero o concreto comienza a perder su plasticidad y trabajabilidad, siendo cada vez más difícil de manejar; a este estado se le conoce como fraguado inicial. Una vez alcanzado el fraguado inicial, el endurecimiento de la mezcla va avanzando hasta alcanzar un estado de consistencia rígida conocido como fraguado final. Es muy importante que estos procesos de fraguado inicien hasta después de haber colocado la mezcla en su sitio final (cimentaciones, muros, vigas, pisos, etc.) ya que, si las mezclas han iniciado el proceso de fraguado y no han sido colocadas, los elementos de mortero o concreto que se construyan después, experimentarán agrietamiento, falta de adherencia, baja resistencia y menor durabilidad [5], [6].

Durante la construcción de estructuras de concreto y mortero es común que se presenten retrasos en la colocación de las mezclas, es decir, los tiempos desde que se fabrican en planta hasta su colocación en obra suelen ampliarse por diferentes motivos, entre ellos se encuentran la distancia del transporte, retrasos por obras de bacheo y reparación de pavimentos, construcciones, manifestaciones, accidentes viales e inclusive retrasos relacionados con el funcionamiento de la misma maquinaria que transporta a la mezcla [7]. Este tipo de retrasos en el transporte de las mezclas genera que el fraguado inicie cuando todavía no se han colocado en la obra. Ante esta situación los constructores rechazan colocar las mezclas, lo que se deriva en pérdidas económicas importantes por parte del constructor y del mismo fabricante.

El tiempo de fraguado puede ser modificado con la ayuda de aditivos comerciales, en algunas ocasiones interesa que este tiempo sea más corto (aditivos acelerantes) y en otras, que sea más lento (aditivos retardantes). Los aditivos retardantes detienen gradualmente las reacciones químicas que producen el fraguado, aumentan la plasticidad y ofrecen periodos más largos para su colocación y transporte. Lamentablemente, el uso de aditivos comerciales conlleva las siguientes desventajas: precios altos, afectaciones a la salud de las personas que están en contacto directo con ellos, causan un impacto negativo en el ambiente y se desconoce su efecto en otros materiales de construcción. Ante esta situación, en los últimos años se ha impulsado fuertemente

el uso de aditivos retardantes de origen natural, como por ejemplos aloe-vera [8], lignina [9] y la azúcar [10]. Sin embargo, no existen suficientes estudios sobre los efectos a corto y largo plazo del uso de estos aditivos.

Algunas investigaciones realizadas sobre la azúcar utilizada como aditivo retardante en mezclas de mortero y concreto, muestran resultados prometedores [10], [11]. Sin embargo, se ha hecho énfasis solo en el tiempo de fraguado final y la resistencia a corto plazo. En esta investigación se analiza el efecto de añadir azúcar como aditivo en mezclas de pastas de cemento (cemento + agua), se determina la cantidad óptima de azúcar para obtener un aumento en el tiempo de fraguado y se analiza la resistencia a la compresión simple a 28 días de curado (por inmersión en agua). Con lo anterior, se contribuirá a ampliar el panorama del uso de los aditivos naturales, a establecer las ventajas y desventajas de su uso y a impulsar la construcción sustentable.

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Cemento: Es un conglomerante completamente inorgánico formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas finamente molido de color gris verdoso [4], [12].

Para la elaboración de todas las pruebas se utilizó Cemento Portland Compuesto, Clase Resistente 30 de Resistencia Rápida (CPC 30 R) de la marca Moctezuma, dicho cemento cumple con las especificaciones de calidad establecidas

en la Norma Mexicana NMX-C-414-ONNCCE [13].

El cemento Portland se compone principalmente de óxido de calcio (CaO), óxido de silicio (SiO₂), óxido de aluminio (Al₂O₃) y el óxido de hierro (Fe₂O₃).

Según la página oficial de la marca Moctezuma, las principales características del Cemento Portland Compuesto, Clase Resistente 30 de Resistencia Rápida (CPC 30 R) son:

- ✓ Resistencia mínima a 3 días 20 N/mm² (204 kg/cm²),
- ✓ Resistencia mínima a 28 días 30 N/mm² (306 kg/cm²),
- ✓ Tiempos de fraguado,
- ✓ Inicial: 45 minutos (mínimo),
- ✓ Final: 600 minutos (máximo),
- ✓ Estabilidad de volumen en autoclave,
- ✓ Expansión máxima 0.8 %,
- ✓ Contracción máxima 0.20 % [13].

Azúcar: La azúcar se clasifica de acuerdo a su origen, ya sea de la caña de azúcar o de la remolacha, pero también se puede clasificar por su grado de refinación. Normalmente la refinación se clasifica de acuerdo a las características físicas como el color (azúcar morena, azúcar rubia, blanca).

En los ensayos realizados para esta investigación se usó azúcar morena convencional de uso común y comercial.

También llamada azúcar prieta, la azúcar morena se obtiene del jugo de la caña de la azúcar y no se somete a un proceso de refinado, sólo se cristaliza y se centrifuga, el color peculiar de esta azúcar se debe a la melaza, ya que envuelve cada cristal de la azúcar con una ligera película y asigna

de esta manera dicho color. La azúcar morena está compuesta principalmente por un 6.5 % de melaza y 93.5 % de sacarosa, el producto es normalmente húmido debido a que ésta es una de las características naturales higroscópica de la melaza [14].

De acuerdo con las especificaciones de la marca que se usó, la azúcar proviene de caña cosechada en campos de México, se evitó el uso de fertilizantes o pesticidas en los cultivos lo cual nos da la certeza que está libre de cualquier ingrediente químico que haya afectado las propiedades naturales de la caña [15].

METODOLOGÍA

Pretratamiento de la azúcar. Para utilizar la azúcar en la elaboración de mezclas de pastas de cemento se decidió diluirla en diferentes proporciones. Lo anterior garantizó la correcta distribución de la azúcar en las mezclas. Para la preparación del concentrado, la azúcar se disolvió en 1 litro de agua para la elaboración de las pastas.

Para disolver la azúcar se utilizó un vaso de precipitado con capacidad de 1 litro, se le agregó la cantidad de azúcar requerida de acuerdo con el porcentaje de concentración deseado y se mezcló hasta que la azúcar se homogenizó completamente con el agua.

Dosificación. Luis Felipe Soto Gutiérrez [16], en su trabajo de investigación acerca de las pastas de cemento determinó que una de las mejores proporciones es 650 g de cemento y 169 g de agua, por lo que,

en esta investigación se utilizó dicho proporcionamiento.

Para determinar el efecto de añadir azúcar en las pastas de cemento se propusieron las dosificaciones mostradas en la **Tabla 1**. Todas las pastas de cemento se elaboraron con una fluidez de 180 mm con un margen de error permisible de ± 5 mm (**Figura 1**).

La fluidez fue determinada de acuerdo con la norma ASTM C1437 [17]. La fluidez en las pastas de cemento es la manejabilidad o trabajabilidad de la pasta, es decir; la facilidad para manejar la mezcla sin que se produzcan problemas de segregación.

Tabla 1. Dosificación de pastas de cemento

Tipo	% De azúcar	Agua (ml)	Cemento (g)	Fluidez (mm)
Control	0	190	650	180.0
AZ_0.10	0.10	185	650	180.3
AZ_0.20	0.20	182	650	181.0
AZ_1.00	1.00	182	650	179.4
AZ_1.06	1.06	179	650	178.0
AZ_1.10	1.10	181	650	179.4
AZ_1.40	1.40	179	650	184.0



Figura 1. Fluidez de 180 mm \pm 5 mm de la pasta de cemento añadiendo azúcar.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El primer criterio en el análisis de la adición de la azúcar en las pastas de cemento fue el tiempo de fraguado. El tiempo de fraguado es el periodo que tarda el proceso de endurecimiento del cemento, debido a la hidratación de sus componentes químicos.

De acuerdo con la dosificación de la **Tabla 1**, se elaboraron las pastas de cemento con un tiempo de mezclado de 5 minutos. El mezclado se realizó con una mezcladora estándar de mesa para mortero a velocidad baja (140 rpm) y con una capacidad máxima de 4.73 L. En primer lugar, se colocó la cantidad de cemento deseada para posteriormente agregar el agua con azúcar gradualmente durante un minuto, seguidamente, el mezclado continuó durante cuatro minutos más. El tiempo de fraguado se determinó en base a la norma ASTM C191 [18], empleándose el aparato de Vicat como se muestra en la **Figura 2**.



Figura 2. Medición del tiempo de fraguado con el aparato de Vicat.

Con este ensayo realizado a todas las pastas se pudo determinar el efecto de añadir azúcar a la pasta de cemento.

Posteriormente, respetando la dosificación de la **Tabla 1** se elaboraron las muestras para determinar la densidad en estado seco y la resistencia a la compresión simple.

La densidad en estado seco. Este ensayo se realizó de acuerdo con la norma ASTM C642 [19], la cual consiste en determinar en primer lugar el peso de las muestras de pastas de cemento secas y posteriormente, determinar el volumen de cada muestra.

La densidad se calculó con la siguiente ecuación:

$$D = \frac{W}{V} \quad (1)$$

Donde:

D = Densidad en estado seco (g/cm^3),

W = Peso seco de la muestra (g),

V = Volumen de la muestra (cm^3).

La resistencia a la compresión simple. Este ensayo está determinado por la norma ASTM C109 [20]. Este ensayo consiste en someter a las muestras de cemento a una carga axial mediante una prensa hidráulica. Se utilizó una prensa hidráulica universal eléctrica de la marca DAVI con capacidad de hasta 120 tons. La resistencia a la compresión se determinó con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{P}{A} \quad (2)$$

Donde,

R = Resistencia a la compresión simple (kg/cm^2),

P = Carga axial (kg),

A = Área en la que se aplica la carga (cm^2)

Todas las muestras para estos dos ensayos fueron cubos de 5 cm por lado. Se elaboraron 3 muestras de cada porcentaje de concentración de azúcar haciendo un total de 21 muestras. Una vez pasadas 24 horas de haber sido elaboradas las muestras, fueron desmoldadas y llevadas a la cámara de curado en donde pasaron un total de 28 días consecutivos sumergidas en agua potable, una vez cumpliendo la edad mencionada se realizaron los ensayos de densidad y resistencia (1)(2).

RESULTADOS

Fluidez. Cuando se comenzaron a realizar las primeras pastas de cemento añadiéndole azúcar se observó que incrementaba considerablemente la fluidez, es decir, con poca agua azucarada la manejabilidad de la pasta aumentaba, así que para lograr una fluidez de 180 mm \pm 5 mm se le incorporó menos cantidad de agua (con respecto a la muestra de control).

En la **Figura 3** se observa que a medida que la cantidad de azúcar añadida a la mezcla se incrementa, la cantidad de agua disminuye (**Tabla 1**), lo que demuestra que el azúcar funciona como agente reductor de agua, de igual manera se observa que en los porcentajes de 0.2 % a 1.0 % la

cantidad de agua requerida fue constante para obtener la fluidez de $180 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, por lo que podemos decir que es una zona neutra donde las pastas se comportará de la misma manera

Tiempo de fraguado. La **Figura 4** muestra los tiempos de fraguado inicial (F.I) y final (F.F) de todas las mezclas analizadas. En esta propiedad se observan tres tipos de comportamiento, los cuales se describen a continuación.

Zona inicial (color verde). Se observa que para las mezclas elaboradas con 0.1 % de azúcar los tiempos de fraguado aumentaron con respecto a la mezcla de control, es decir, para mezclas con cantidades de azúcar menores a 0.2 % el fraguado o endurecimiento tarda más que las mezclas de control.

Zona intermedia (color café). Para las pastas elaboradas con porcentajes de azúcar desde 0.2 % y hasta 1.0 % de azúcar, los tiempos de fraguado se incrementaron considerablemente, por

encima de las ocho horas, lo que vuelve inviable a esas muestras.

Zona final (color azul). Se observó que para las pastas elaboradas con más de 1.0 % de azúcar los tiempos de fraguado se van reduciendo gradualmente, hasta lograr el endurecimiento total en minutos. Es importante mencionar que en esta investigación se analizaron porcentajes de azúcar de hasta 5.0 %, sin embargo, los porcentajes mayores a 1.4 % fraguaban tan rápido que fue imposible elaborar las muestras.

Densidad en estado seco y resistencia a la compresión simple. Las **Figuras 5 y 6** muestran los resultados de estas propiedades. Se observa que en las muestras elaboradas con los porcentajes 1.0 %, 1.06 % y 1.1 % no hay datos debido a que al momento de dejarlos 28 días en la cámara de curado, dichas muestras comenzaron a deformarse a tal punto de quedar incapaces de ser ensayadas como se muestra en la **Figura 7**.

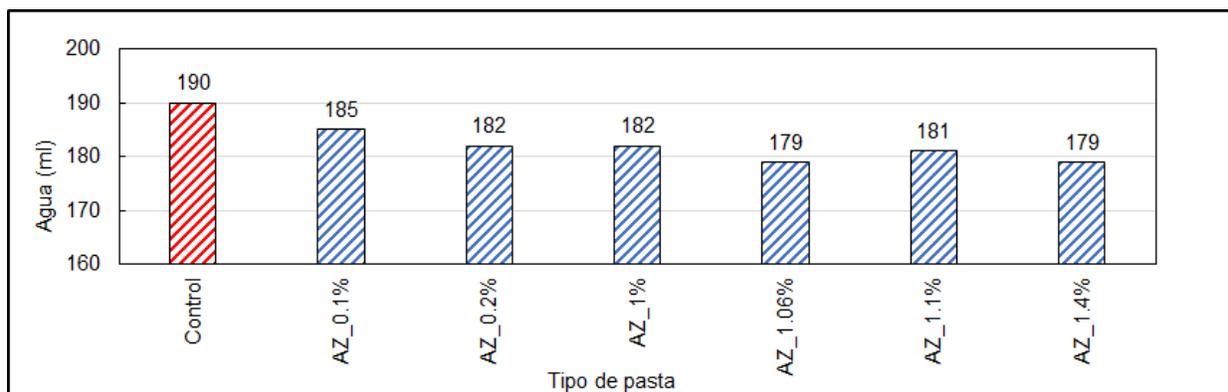


Figura 3. Variación de la cantidad de agua en las pastas por efecto de la azúcar.

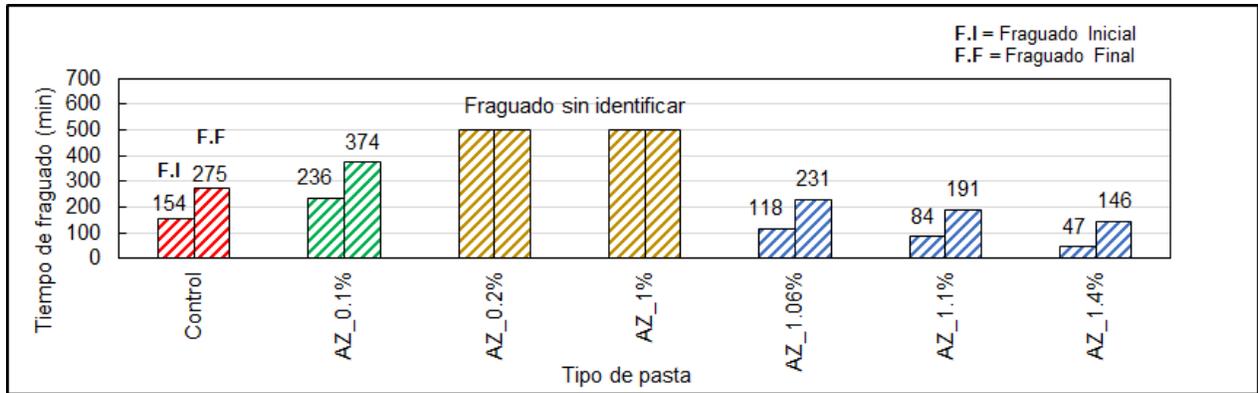


Figura 4. Tiempo de fraguado inicial y final.

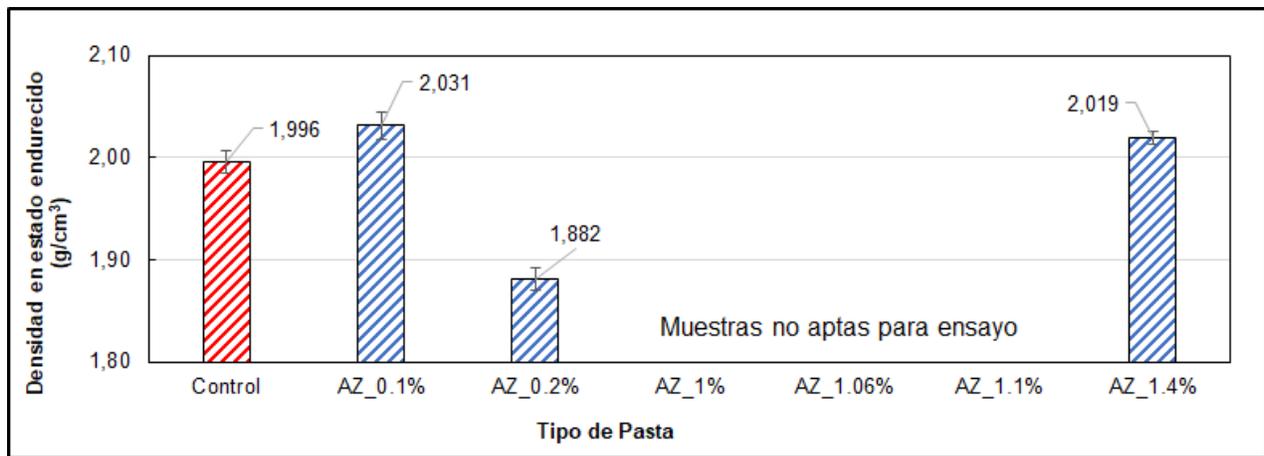


Figura 5. Densidad en estado endurecido de las muestras de cemento.

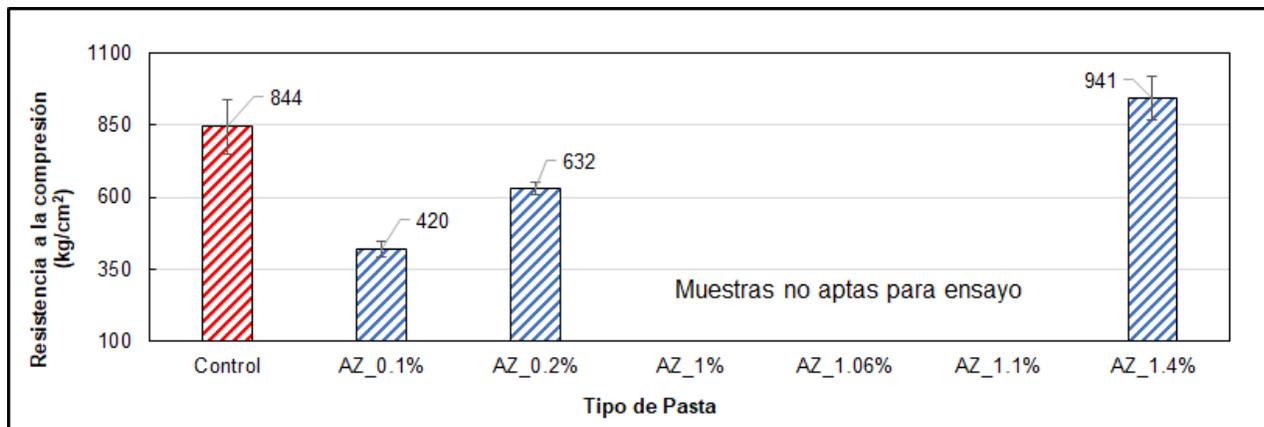


Figura 6. Resistencia a la compresión simple de las muestras de cemento

En la **Figura 5** podemos observar que la densidad en estado endurecido de las muestras con porcentaje de azúcar de 0.1 % y 1.4 % se mantienen casi iguales y son mayores a la muestra de control, sin embargo, en la muestra de 0.2 % de azúcar la densidad disminuye considerablemente.

En la **Figura 6** se observa que en las muestras elaboradas con porcentajes de azúcar inferiores a 1.4 % mostraron caídas de resistencia considerables. Solo la muestra con 1.4 % de azúcar mostró un incremento del 12 % en la resistencia con respecto al mortero de control.



Figura 7. Daño en muestras elaboradas con azúcar.

DISCUSIÓN

Esta investigación se centró en el estudio del comportamiento mecánico de las pastas de cemento adicionadas con azúcar. Desde el primer momento se pudieron observar sus efectos en la fluidez y en el tiempo de fraguado.

Como se mostró, añadir azúcar a las pastas de cemento disminuyó la cantidad

de agua necesaria para conservar la trabajabilidad de las pastas, en general esto es benéfico para aspectos como la resistencia y la durabilidad, sin embargo, para las mezclas con azúcar fue lo contrario. Los resultados hacen evidente que la azúcar afecta las reacciones químicas que dan origen a la resistencia del cemento.

En cuanto al tiempo de fraguado fue muy interesante observar que dependiendo de la cantidad de azúcar añadida, ésta se comportaba como acelerante o retardante. La frontera entre estos comportamientos fue 1.0 %. Porcentajes por encima de esta cantidad reducían el tiempo de fraguado (efecto acelerante). El tiempo de fraguado se volvió tan pequeño que para porcentajes mayores a 1.4 % fue imposible fabricar muestras (razón por la cual no se mostraron en esta investigación). Se observó que para algunos porcentajes menores a 1.0 % el tiempo de fraguado se extendió más de ocho horas, lo que hace imposible pensar en su uso en la industria, ya que cuando estas mezclas estén expuestas al aire libre y al ser tan prolongado el tiempo de fraguado perderán humedad y se agrietarán.

Al analizar a las muestras después del fraguado se constató que muchas de ellas presentaron fallas (**Figura 7**). Sin importar si fraguaron lento o más rápido las muestras mostraron fragilidad, la azúcar tuvo un efecto negativo en el desarrollo de las reacciones químicas, traduciéndose en muestras con fallas estructurales desde el inicio. Solo la muestra con 1.4 % de azúcar mostró una estabilidad parecida a la muestra de control.

CONCLUSIONES

En esta investigación se analizaron los efectos de la incorporación de azúcar en las pastas de cemento. A continuación, se enlistan las principales conclusiones:

- Añadir azúcar en las pastas de cemento reduce la cantidad de agua necesaria para elaborar las mezclas, pero la resistencia a la compresión se ve afectada negativamente en la mayoría de los casos;
- La azúcar en las pastas de cemento tiene dos efectos en el tiempo de fraguado: (1) para porcentajes de azúcar de hasta 1.0 % se observa un efecto de incremento del tiempo de fraguado, es decir, un efecto retardante del fraguado; (2) para porcentajes mayores a 1.0 % se presenta un efecto reductor del tiempo de endurecimiento (acelerante);
- Las muestras con más de 1.4 % de azúcar fraguaron tan rápido que fue imposible colocarlas en los moldes de las muestras. Esta cualidad hace imposible su uso;
- Solo las muestras con 1.4 % de azúcar mostraron un comportamiento similar a la muestra de control.

Por todo lo anterior, es necesario realizar en futuras investigaciones estudios a fondo del desarrollo de las reacciones químicas presentes en las mezclas con azúcar, así como un análisis microscópico de los arreglos estructurales de estas muestras, de igual manera analizar la

durabilidad a corto y largo plazo de las muestras con 1.4 % de azúcar añadida, así como también otras propiedades como la adherencia y difusión térmica.

REFERENCIAS

- [1] Statista Research Department., “El sector de la construcción en México – Datos estadísticos.”
- [2] P. Adeleke, “La industria mundial del cemento y el hormigón anuncia un calendario de mejoras para lograr unas revolucionarias emisiones de CO2 ‘netas’ para 2050,” BusinessWire. [Online]. Available: <https://www.businesswire.com/news/home/20211012006051/es/>
- [3] F. Cartuxo, J. de Brito, L. Evangelista, J. Jiménez, and E. Ledesma, “Increased Durability of Concrete Made with Fine Recycled Concrete Aggregates Using Superplasticizers,” *Materials*, vol. 9, no. 2, p. 98, Feb. 2016, doi: 10.3390/ma9020098.
- [4] Cemix México SA de CV, “Características del cemento y sus principales aplicaciones en la construcción.”
- [5] C. Inka, “Fraguado, secado y curado del concreto.” [Online]. Available: <https://www.cementosinka.com.pe/blog/fraguado-secado-y-curado-del-concreto/#:~:text=El concreto tiene una reacción química exotérmica que,e incluso dejar porosidad que debilite la misma.>

- [6] J. L. G. Rivero, Manual Técnico de Construcción Holcim APASCO. México, Distrito Federal, 306AD.
- [7] D. A. Rodríguez Lacayo, J. C. Reyes, and K. Úcles, “Predicción de la resistencia a compresión del concreto 1:2:3 a partir del tiempo de inicio fraguado,” *Innovare: Revista de ciencia y tecnología*, vol. 9, no. 3, pp. 131–138, Dec. 2020, doi: 10.5377/innovare.v9i3.10646.
- [8] C. A. Br. Medina Sevillano, “Uso del Aloe vera y Opuntia ficus para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto de 245 kg/cm², Huaraz 2021,” Universidad César Vallejo, 2021.
- [9] A. K. Mullick, “Use of lignin-based products in concrete,” in *Waste Materials Used in Concrete Manufacturing*, Elsevier, 1996, pp. 352–429. doi: 10.1016/B978-081551393-3.50010-7.
- [10] J. C. A. Guillén, “Azúcar como aditivo retardante y modificador de resistencia para mezclas de concreto,” Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2017.
- [11] B. Matias, C. Enrique Cahahuanca Aquino, and J. luisa Pereira Palacios, “Easy placement of concrete on roofing in warm weather using sugar as retardant additive autores.”
- [12] Ferrovial, “Cemento.” Accessed: Mar. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.ferrovial.com/es/recursos/cemento/>
- [13] Cementos Moctezuma, “CPC 30R/ Cemento Portland Compuesto.” Accessed: Mar. 04, 2024. [Online]. Available: <https://www.cmoctezuma.com.mx/cemento/productos/cpc-30-r.htm>
- [14] Julio César Álvarez Guillén, “Azúcar como aditivo retardante y modificador de resistencia para mezclas de concreto,” Universidad de San Carlos de Guatemala-Facultad de Ingeniería, Guatemala, 2017.
- [15] “Azúcar Morena,” Zulka Sugar. Accessed: Mar. 07, 2024. [Online]. Available: <https://zulka.com.mx/usa-zulka/>
- [16] Luis Felipe Soto Gutiérrez, “Efecto del azúcar de caña en las propiedades físicas y mecánicas de las pastas y morteros elaborados con cemento tequendama,” Universidad Militar Nueva Granada Facultad De Ingeniería, Cajicá, 2019.
- [17] ASTM C1437-20, “Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar,” ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2020.
- [18] ASTM C191-08, “Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle,” ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2008.

- [19] ASTM C642-21, “Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete,” ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2021.
- [20] ASTM C109-21, “Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens),” ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2021.