



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO



DIVISIÓN ACADÉMICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**“EL AZÚCAR COMO ADITIVO NATURAL EN MEZCLAS DE MORTERO Y
CONCRETO: ANÁLISIS MECÁNICO”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL

PRESENTA:

ZAIRA PÉREZ MORALES

DAVID BERNARDO GARCÍA DE LA CRUZ

BAJO LA DIRECCIÓN DE:

DR. RENÉ SEBASTIÁN MORA ORTIZ

EN CODIRECCIÓN DE:

M.A.C. JOSÉ DARWIN HERNÁNDEZ MARTÍNEZ

CUNDUACÁN, TABASCO, FEBRERO DEL 2025

Declaración de Autoría y Originalidad

En la Ciudad de **Cunduacán**, el día **21** del mes **febrero** del año **2025**, el que suscribe **Zaira Pérez Morales** y **David Bernardo García de la Cruz** alumnos del Programa de **Ingeniería Civil** con número de matrícula **192D25024** y **192D25074**, adscritos a la **División Académica de Ingeniería y Arquitectura** de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como autores de la Tesis presentada para la obtención del **título de Licenciatura en Ingeniería Civil** y titulada **El azúcar como aditivo natural en mezclas de mortero y concreto: Análisis mecánico**, dirigida por **Dr. René Sebastián Mora Ortiz**.

DECLARO QUE:

La Tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la LEY FEDERAL DEL DERECHO DE AUTOR (Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Federal del Derecho de Autor del 01 de Julio de 2020 regularizando y aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita.

Del mismo modo, asumo frente a la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad o contenido de la Tesis presentada de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente

Cunduacán, Tabasco a 21 de febrero del 2025.

Nombre y Firma

Zaira Pérez Morales

David Bernardo García de la Cruz

EL AZÚCAR COMO ADITIVO NATURAL EN MEZCLAS DE MORTERO Y CONCRETO: ANÁLISIS MECÁNICO

ORIGINALITY REPORT

17%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	www.cementosinka.com.pe Internet	280 words — 2%
2	docplayer.es Internet	253 words — 2%
3	es.scribd.com Internet	179 words — 1%
4	www.scribd.com Internet	171 words — 1%
5	www.repositorio.usac.edu.gt Internet	155 words — 1%
6	hdl.handle.net Internet	145 words — 1%
7	www.researchgate.net Internet	113 words — 1%
8	www.camjol.info Internet	83 words — 1%
9	d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net Internet	71 words — < 1%



COORDINACIÓN
DE ESTUDIOS
TERMINALES



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



División
Académica
de Ingeniería
y Arquitectura



DIRECCIÓN

OFICIO: DAIA/DIR/CD/0220/2025
FECHA: 17 de febrero de 2025.
ASUNTO: Autorización de Impresión definitiva.

C. ZAIRA PÉREZ MORALES
C. DAVID BERNARDO GARCÍA DE LA CRUZ
PASANTES DE LA LICENCIATURA EN
INGENIERÍA CIVIL
P R E S E N T E.

En virtud de haber elaborado el trabajo recepcional para obtener el Título de Licenciatura en INGENIERÍA CIVIL, bajo la modalidad de "Tesis", el cual ha sido dirigido por el DR. RENÉ SEBASTIÁN MORA ORTÍZ y por el M.A.C. JOSÉ DARWIN HERNÁNDEZ MARTÍNEZ, titulado:

"El azúcar como aditivo natural en mezclas de mortero y concreto: Análisis mecánico."

Tengo a bien autorizarles la **IMPRESIÓN DEFINITIVA** de dicho trabajo, continuando con los trámites correspondientes para su examen profesional.

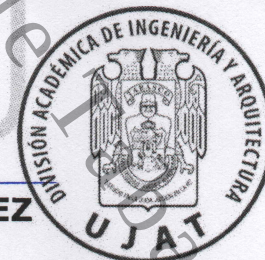
Asimismo, les informo que en el artículo 113, del Capítulo IV, de nuestro Reglamento de Titulación vigente, a la letra dice:

"Una vez emitido el oficio de autorización de impresión del Trabajo Recepcional por la Dirección de la División Académica correspondiente, el egresado tendrá un plazo máximo de seis meses para efectos de presentar el Examen Profesional. En caso contrario, podrá optar por la misma u otra modalidad que señale el presente Reglamento, llevando a cabo los trámites correspondientes".

Sin otro particular por el momento, me despido deseándoles éxito en su carrera profesional.

ATENTAMENTE


DRA. DORA MARÍA FRÍAS MÁRQUEZ
DIRECTORA



DIRECCIÓN

C.c.p. Archivo-INGENIERÍA CIVIL-322
DRA'DMFM/M.C. 'LHC

Miembro CUMEX desde 2008
Consortio de
Universidades
Mexicanas
UNA ALIANZA DE CALIDAD POR LA EDUCACIÓN SUPERIOR

Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez, km. 1, Col. La Esmeralda
C.P.86690 Cunduacán, Tabasco
Tel. (993) 358.15.00 Ext. 6752
direccion.daia@ujat.mx

www.ujat.mx

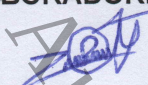
Carta de Cesión de Derechos

Cunduacán, Tabasco a 21 de febrero de 2025.

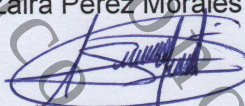
Por medio de la presente manifestamos haber colaborado como AUTORES en la producción, creación y/o realización de la obra denominada **El azúcar como aditivo natural en mezclas de mortero y concreto: Análisis mecánico**.

Con fundamento en el artículo 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor y toda vez que, la creación y/o realización de la obra antes mencionada se realizó bajo la comisión de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; entendemos y aceptamos el alcance del artículo en mención, de que tenemos el derecho al reconocimiento como autores de la obra, y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco mantendrá en un 100% la titularidad de los derechos patrimoniales por un periodo de 20 años sobre la obra en la que colaboramos, por lo anterior, cedemos el derecho patrimonial exclusivo en favor de la Universidad.

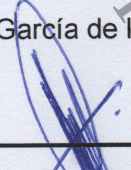
COLABORADORES



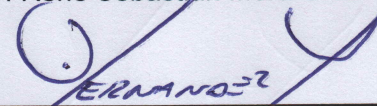
Zaira Pérez Morales



David Bernardo García de la Cruz

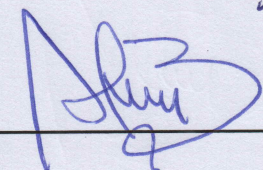


Dr. René Sebastián Mora Ortiz

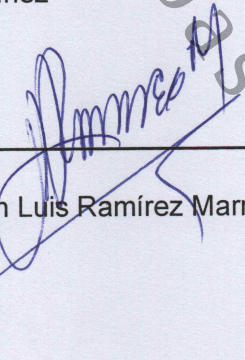


M.A.C. José Darwin Hernández Martínez

TESTIGOS



MTRO. Hernán Atocha Barragán Abreu



MTRO. Juan Luis Ramírez Marroquín

DEDICATORIAS

*A Dios por darme ese coraje y valentía de forjar mi camino a base de paciencia y constancia
para conseguir mis metas y los sueños que más anhelo.*

Bernardo

*A Dios, por acompañarme y guiarme durante este camino, por darme la fuerza y sabiduría en
todo momento para lograr mis metas.*

Zaira

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, por ser una pieza fundamental en mi desarrollo como profesional y persona, por estar presente en cada mañana y alentarme en cada paso que doy. No hay palabras suficientes para expresar lo mucho que te quiero y te admiro, mamá.

A mis abuelos por confiar en mí, por sus grandes consejos, por trazarme y guiarme en el camino de la vida. A mis amigos que estuvieron presentes en cada materia y desvelo juntos, por ser aquellos compañeros que no dudaban en apoyarte cuando más se necesitaba, gracias Alejandra, Reyna y Manrique.

A mi padre, por ser un pilar y ejemplo de superación ante las dificultades, demostrarme todo su apoyo incondicional y su carácter que hicieron de mí una inspiración, por su incansable lucha que se puede reflejar en la gran labor que hicieron en conjunto para lograr esta meta.

Agradezco a nuestro director de Tesis, el Dr. René Sebastián Mora, por su apoyo y el conocimiento que nos brindó por sus asesorías, ideas y recomendaciones respecto a esta investigación.

Le agradezco a mi novia por ser un complemento especial en gran parte de la carrera, por estar en los momentos más importantes y vulnerables de mi vida, también aprecio que compartas conmigo tu amor más sincero y puro. Por impulsarme a ser un gran ingeniero y demostrar de lo que soy capaz en todo lo que me proponga y sueñe, por siempre creer en mí y sobre todo la gran felicidad que me da el crecer juntos y compartir esta tesis que es el fruto de nuestro gran y arduo trabajo.

“Detrás de todo gran hombre, siempre hay una gran mujer”

David Bernardo García de la Cruz

A Dios por ser la luz que me guía siempre en mi vida.

A mis padres, por el apoyo económico y emocional, por impulsarme a seguir adelante y estar para mí siempre que lo necesité, por compartir las noches de desvelo, cuidarme y estar pendiente de lo que pasaba en mi día a día.

A mis hermanos por su compañía y esmero en ayudarme y querer lo mejor para mí.

A mi director de tesis, el Dr. Rene Sebastián Mora Ortiz, por su paciencia y apoyo incondicional para desarrollar este proyecto.

A mis maestros, por tener la capacidad de compartir su conocimiento de manera eficiente y darme siempre palabras de aliento para seguir con mis estudios y sobresalir en esta carrera.

A mi compañero de tesis, mi amigo, mi novio, David, quien ha estado conmigo desde el inicio de esta hermosa carrera, por ayudarme a ser mejor persona, hija, estudiante y amiga, y por sacar siempre lo mejor de mí. Por todas las noches de desvelo y ser cómplices de muchas aventuras a lado de nuestros amigos Manrique, Alejandra y Reyna, a quienes también agradezco por todos los momentos y las sonrisas compartidas durante estos 5 años que sin duda guardaré siempre en mi corazón.

Zaira Pérez Morales

Índice de Contenido

DEDICATORIAS	2
AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	12
ABSTRACT	12
PALABRAS CLAVES	13
1. INTRODUCCIÓN	14
2. MARCO TEÓRICO	16
2.1 Antecedentes Históricos	16
2.2 Concreto	17
2.3 Aditivos en el concreto.....	18
2.3.1 Tipos de aditivos.....	19
2.4 El azúcar	22
2.4.1 Azúcar como aditivo.....	24
2.5 Tiempo de fraguado.....	26
3. JUSTIFICACIÓN	30
4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	31
5. HIPÓTESIS	31
6. OBJETIVOS	31
6.1 Objetivo general.....	31
6.2 Objetivos específicos	31
7. METODOLOGÍA	32
7.1 Material y Equipo	32
7.2 Procedimiento experimental.....	44

Dosificación.....	44
Preparación del azúcar	46
7.3 Determinación de tiempo de fraguado.....	52
7.4 Determinación de densidad.	56
7.4.1 Densidad para una pasta:.....	56
7.4.2 Densidad para mortero:	60
7.4.3 Densidad para concreto:.....	65
7.5 Determinación de resistencia.....	69
7.5.1 Determinación de resistencia para pasta:.....	69
7.5.2 Determinación de resistencia para mortero.	71
7.5.3 Determinación de resistencia para concreto:.....	73
*Observaciones:.....	76
8. RESULTADOS.....	77
8.1 Muestras de pastas.....	77
8.2 Muestras de mortero.....	81
8.3 Muestras de concreto	82
9. DISCUSIONES	84
10. CONCLUSIONES.....	85
11. REFERENCIAS.....	86
12. ANEXO 7.....	94

Índice de Tablas

Tabla 7. 1 Dosificación de pastas de cemento.	44
Tabla 7. 2 Dosificación de mortero.	45
Tabla 7. 3 Dosificación de concreto.	46

Índice de Figuras

Figura 7. 1 Agua.....	32
Figura 7. 2 Arena.....	32
Figura 7. 3 Azúcar	33
Figura 7. 4 Cemento.....	33
Figura 7. 5 Grava.....	33
Figura 7. 6 Aguja de Vicat	34
Figura 7. 7 Báscula 1.....	34
Figura 7. 8 Báscula 2.....	35
Figura 7. 9 Charola metálica (concreto).....	35
Figura 7. 10 Cono de Abrams	35
Figura 7. 11 Cono metálico (para fluidez en pasta y mortero).....	36
Figura 7. 12 Cono (para densidad en mortero)	36
Figura 7. 13 Cono de plástico (para tiempo de fraguado)	36
Figura 7. 14 Cronómetro digital	37
Figura 7. 15 Cucharón metálico	37
Figura 7. 16 Espátula	37
Figura 7. 17 Estufa eléctrica.....	38
Figura 7. 18 Franela	38
Figura 7. 19 Flexómetro	38
Figura 7. 20 Horno.....	39
Figura 7. 21 Mallas (Granulometría).....	39
Figura 7. 22 Máquina de ensayos de compresión.....	39
Figura 7. 23 Martinete	40
Figura 7. 24 Mesa de abatimiento	40

Figura 7. 25 Mezclador estándar	40
Figura 7. 26 Molde metálico (para muestras cilíndricas de concreto)	41
Figura 7. 27 Moldes metálicos (para muestras cúbicas de pasta y mortero).....	41
Figura 7. 28 Pala	41
Figura 7. 29 Placa de cristal	42
Figura 7. 30 Recipiente metálico	42
Figura 7. 31 Revolvedora manual	42
Figura 7. 32 Varilla de apisonamiento	43
Figura 7. 33 Vaso de precipitado.....	43
Figura 7. 34 Vernier.....	43
Figura 7. 35 Concentrado AZ_0.10%	49
Figura 7. 36 Mezclado de pasta (agua-cemento)	49
Figura 7. 37 Enrasado de pasta	50
Figura 7. 38 Golpes en mesa de abatimiento.....	50
Figura 7. 39 Mediciones de fluidez.....	51
Figura 7. 40 Moldeo de mezcla para el cono de plástico.....	51
Figura 7. 41 Ensayo de Vicat después del moldeo de la mezcla	52
Figura 7. 42 Colocación del cemento	53
Figura 7. 43 Agua y mezclado.....	53
Figura 7. 44 Pasta final para la prueba de fluidez	54
Figura 7. 45 Llenado y golpes con martinete.....	54
Figura 7. 46 Enrasado	55
Figura 7. 47 Resultado de fluidez	55
Figura 7. 48 Lectura de la primera penetración en la prueba de tiempo de fraguado ..	56
Figura 7. 49 Pasta	57
Figura 7. 50 Fluidez de 180mm ± 5mm	57
Figura 7. 51 Llenado y golpes de las muestras cúbicas	58
Figura 7. 52 Enrasado de las muestras cúbicas.....	58
Figura 7. 53 Muestras de pasta (agua-cemento) saturadas	59
Figura 7. 54 Prueba de SSS en muestras cúbicas de pasta	59
Figura 7. 55 Peso de la muestra después de la SSS	60

Figura 7. 56 Arena y cemento	61
Figura 7. 57 Agua agregada a la mezcla de mortero.....	61
Figura 7. 58 Capas en el llenado del cono	62
Figura 7. 59 Medida de fluidez en la mezcla de mortero	62
Figura 7. 60 Muestra de barra de mortero.....	63
Figura 7. 61 Muestra de los cubos de mortero	63
Figura 7. 62 Prueba de SSS en muestras de mortero.....	64
Figura 7. 63 Mezclado de todos los materiales	65
Figura 7. 64 Vaciado de la mezcla de concreto.....	65
Figura 7. 65 Equipo para obtener el revenimiento.....	66
Figura 7. 66 Número de golpes dados a la mezcla de concreto.....	66
Figura 7. 67 Enrasado del cono con mezcla de concreto.....	67
Figura 7. 68 Medida del revenimiento	67
Figura 7. 69 Llenado de los cilindros con mezcla de concreto con el número de golpes	68
Figura 7. 70 Limpieza de la muestra de concreto.....	68
Figura 7. 71 Muestras cilíndricas de concreto en la pileta para su curado	69
Figura 7. 72 Fluidez en la pasta	70
Figura 7. 73 Peso seco de una muestra de pasta con 0.2% de azúcar	70
Figura 7. 74 Carga axial soportada por la muestra de pasta.....	71
Figura 7. 75 Mezcla de mortero.....	71
Figura 7. 76 Fluidez en mortero	72
Figura 7. 77 Muestras de mortero para ensayo de resistencia a la compresión	72
Figura 7. 78 Carga axial soportada por la muestra de mortero	73
Figura 7. 79 Muestras de concreto para ensayo de resistencia	74
Figura 7. 80 Cilindro de concreto debajo de la prensa hidráulica.....	74
Figura 7. 81 Muestra de concreto con la carga axial aplicada.....	75
Figura 7. 82 Resultado final de una muestra de concreto después del ensayo de compresión simple	75
Figura 8. 1 Variación de la cantidad de agua en las pastas por efecto del azúcar	78
Figura 8. 2 Tiempo de fraguado inicial y final de las pastas de cemento	78

Figura 8. 3	Densidad en estado endurecido de las muestras de cemento	78
Figura 8. 4	Daño en las muestras de cemento durante el curado	79
Figura 8. 5	Resistencia a la compresión simple de las muestras de cemento	80
Figura 8. 6	Densidad en estado endurecido de las muestras de mortero	81
Figura 8. 7	Resistencia a la compresión simple de las muestras de mortero	82
Figura 8. 8	Densidad en estado endurecido de las muestras de concreto	83
Figura 8. 9	Resistencia a la compresión simple de las muestras de concreto	83

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

**El azúcar como aditivo
natural en mezclas de
mortero y concreto:
Análisis mecánico**

RESUMEN

El tiempo de fraguado es el tiempo que le toma a las mezclas a base de cemento endurecerse debido a la hidratación del cemento que activa sus componentes químicos. Ese tiempo se puede cambiar con la ayuda de aditivos comerciales, ya sean acelerantes o retardantes, según la necesidad que se requiera en obra. Sin embargo, el uso de los aditivos comerciales puede dañar el medio ambiente, así como también puede provocar afectaciones a la salud para quién esté en contacto con ellos. Por esta razón el uso de aditivos naturales está cobrando relevancia. Uno de estos aditivos es la azúcar de mesa, por lo que en esta investigación se tuvo por objetivo analizar su efecto (cambios en densidad, tiempo de fraguado y resistencia) en pastas de cemento, así como también en mezclas de mortero y concreto. Tomando como base la dosificación de las muestras de control (en pastas, mortero y concreto) se fabricaron nuevas muestras con diferentes porcentajes añadidos de azúcar. Para cada muestra se evaluaron las mismas propiedades que las muestras de control. Los resultados mostraron que añadir azúcar a todos los tipos de mezclas estudiados en un porcentaje menor de 1.0 % logra un efecto retardante del fraguado y para porcentajes mayores se obtienen efectos acelerantes. Para porcentajes mayores a 1.4 % el fraguado es muy rápido por lo que no permite fabricar muestras. En todos los casos al añadir azúcar se observó que resulta perjudicial para la integridad estructural de las muestras y para su resistencia.

ABSTRACT

The setting time is when it takes for cement-based mixtures to harden due to the hydration of the cement that activates its chemical components. This time can be changed with the help of commercial admixtures, either accelerators or retarders, depending on the needs of the job site. However, the use of commercial admixtures can damage the environment, as well as cause health problems for those who are in contact with them. For this reason, the use of natural additives is gaining relevance. One of these additives is table sugar, so the objective of this research was to analyze its effect (changes in density, setting time,

and strength) in cement pastes, as well as in mortar and concrete mixtures. Based on the dosage of the control samples (in pastes, mortar, and concrete), new samples were made with different percentages of sugar added. For each sample, the same properties as the control samples were evaluated. The results showed that adding sugar to all the types of mixtures studied in a percentage lower than 1.0 % has a retarding effect on the setting, and for higher percentages, accelerating effects are obtained. For percentages higher than 1.4 %, the setting is high-speed, so it does not allow the manufacture of samples. In all cases, the addition of sugar was observed to be detrimental to the structural integrity and strength of the samples.

PALABRAS CLAVES

Azúcar, Cemento, Concreto, Densidad, Mortero, Resistencia a la compresión simple, Tiempo de fraguado.

Sugar; Cement; Concrete; Density; Mortar; Simple Compressive Strength; Setting time.

1. 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 (2023), que es una de las plataformas globales de datos e inteligencia empresarial más destacadas del mundo, manifestaron que el ramo de la construcción contribuyó con alrededor del 6.8% del producto interno bruto (PIB) de México (Statista Research Department., 2023). En este sector, el concreto y el mortero de albañilería son los materiales más utilizados en el mundo debido a su resistencia, durabilidad, versatilidad (cuanto a la posibilidad de moldearlo) y a que son relativamente sencillos de elaborar (Adeleke, 2023; Cartuxo et al., 2016). 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 hasta otros de mayor complejidad.

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. Está compuesto por Clinker, yeso y determinados aditivos químicos (Cemix México SA de CV, n.d.). 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, trabes, 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 (Fraguado Del Concreto, Secado y Curado, 2022), (José Luis García Rivero, n.d.).

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 (Rodríguez Lacayo et al., 2020). 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.

En un proceso constructivo de infraestructuras de importancia civil, los aditivos son componentes esenciales que se adicionan al concreto o mortero en ciertas cantidades o porcentajes de acuerdo con las necesidades de cada proyecto u obra, estas modifican sus propiedades y mejoran su rendimiento.

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 químicos 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, razones por las cuales hacen complejo la utilización de dichos aditivos.

También se utilizan los aditivos sintéticos, pero conforme pasan los años crece el interés por los aditivos naturales, aquellos que son derivados de fuentes orgánicas y materiales que abundan en la naturaleza y que son aprovechados por la población en general.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Históricos

En el ámbito de la construcción y edificación, desde la antigüedad, se han empleado materiales que oscilan entre tierra apisonada, ladrillos de adobe hasta materiales y piezas como el acero, la madera, el barro y concreto hidráulico (Hernández, 2019).

Los griegos y los romanos utilizaron ceniza volcánica que combinaban con la cal, con el fin de obtener un producto de mejor calidad. Estos materiales, que al ser mezclado con la cal dan un producto que adquiere una consistencia en presencia del agua, de esta manera se les denominó puzolanas, este nombre proviene de Puzol, una ciudad conocida como el Golfo de Nápoles, sitio del cual los romanos extraían el material volcánico que mezclaban con la cal. Los griegos la obtenían de la Isla de Santorin (Gutiérrez de López, 2003). Milenaria como la propia historia de la humanidad, es también la historia del cemento. Desde que el hombre dejó de pernoctar en cavernas, creció su interés por limitar su espacio vital y mejorar sus condiciones de habitabilidad a través de los años. Es este hecho el que marca el inicio de las construcciones en la antigüedad desde la que se dejan ver vestigios del uso de los materiales cementantes (Vidaud, 2013).

Los orígenes de concreto se remontan a dos siglos A. de C., en Roma, cuando utilizaron mezclas de caliza calcinada, tobas volcánicas y piedras, para construir algunas de las estructuras que hoy todavía subsisten (Gutiérrez de López, 2003). En 1817, Vicat, propuso por primera vez el procedimiento de fabricación del cemento, que en términos generales se sigue utilizando hoy día. Sin embargo, fue Joseph Aspdin, quien, en 1824, obtuvo la patente para fabricarlo (Gutiérrez de López, 2003).

2.2 Concreto

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento portland y agua, une los agregados, usualmente arena y grava (piedra triturada, piedra machacada, pedrejón), generando una masa parecida a una roca. Esto sucede debido al endurecimiento de la pasta a causa de la reacción química del cemento con el agua. También se pueden incorporar otros materiales cementantes (cementicios, cementosos) y adiciones minerales donde se pueden anexar e incluir en la pasta (Steven H. Kosmatka et al., 2004). En la industria de la construcción el concreto es el material más resistente y el más utilizado actualmente en diversos tipos de edificaciones, pavimentos, obras de arte y obras de infraestructura (Rivetti et al., 2024). Uno de los ingredientes más importantes para la fabricación del concreto es el agua, ya que es determinante para su resistencia, es el elemento de interconexión entre los conglomerantes hidráulicos y los agregados (Garcia et al., 2023).

Otro elemento indispensable que se utiliza en la fabricación de concreto es el cemento. Este material inorgánico se utiliza como conglomerante de los agregados (arena y grava). Está compuesto por Clinker, yeso y determinados aditivos químicos (Cemix México SA de CV, n.d.). El concreto es una roca fabricada por el hombre, diseñada y producida de acuerdo con normas establecidas para fines y aplicaciones que se requieren en un proyecto determinado y con las características de economía, facilidad de colocación, velocidad de fraguado y apariencia adecuada según su aplicación (Gutiérrez de López, 2003). El concreto se ha ido perfeccionando debido a la variación en su peso volumétrico o densidad y al concreto convencional que suele ser 2400 kg/m^3 . Sin embargo, presenta problemas como lo son el agrietamiento o fisuras que al principio no afectan en la estabilidad, pero con el paso del tiempo estas fallas aumentan y con ello se tiene como resultado el daño de la estructura (Alarcon Alarcon et al., 2023).

2.3 Aditivos en el concreto

En el campo de la ingeniería civil, se han dado avances importantes en la búsqueda de materiales de construcción que sean más duraderos, sostenibles y resilientes (Maxwell Klein Degen et al., 2024).

Hoy en día el auge de la construcción se ha recuperado después del inicio de la pandemia, para este caso el elemento más usado es el concreto en todas las obras de infraestructura civil, así mismo el uso de aditivos químicos que aportan a mejorar la calidad y productividad en la construcción (Reymundo Gamarra, 2024). En la búsqueda del mejoramiento de los materiales de construcción encontramos el uso de aditivos. Para materiales base cemento el uso de aditivos, entre muchos beneficios, mejora la plasticidad, reduce la absorción de agua y aumenta la resistencia mecánica, por lo que es necesario utilizarlo para construir obras arquitectónicas y civiles más durables y sustentables ambientalmente (Hernández, 2019).

En los últimos años hubo un gran avance en el área de la tecnología de los materiales de construcción, por lo que se han obtenido concretos con alta resistencia para mayores exigencias estructurales (Costa et al., 2022), se han añadido aditivos para mejorar dicho concreto convencional, y así poder ayudar en cuanto a resistencia mecánica y durabilidad se refiere, además de una reducida relación de agua/cemento (Santos et al., 2023). Los aditivos para el concreto son productos agregados a la mezcla de cemento y arena en pequeñas cantidades antes y durante el proceso de mezclado, con la finalidad de mejorar la trabajabilidad del concreto y reducir o acelerar el tiempo de fraguado (Hernández, 2019).

El uso de aditivos para la fabricación de materiales de construcción depende la disponibilidad local, son cada vez más utilizados debido a su ventaja económica de relevante en la construcción civil (Maciel et al., 2020), el conocimiento sobre las propiedades y el efecto se ha dado desde hace muchos años atrás (Hernández, 2019). Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto que, además del cemento portland, del agua y de los agregados, se adicionan a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado, los aditivos se pueden clasificar según sus funciones (Steven H. Kosmatka

et al., 2004). Los aditivos son sustancias que, al entrar en contacto en pequeñas dosis al concreto, alteran y modifican algunas de sus propiedades originales, representadas comúnmente en un estado líquido, en forma de polvo o en algunos casos como pasta, la porción varía conforme al producto y al efecto deseado, teniendo un margen del 0.1 % al 5% del peso del cemento (Estela Santiago Patricio, 2011).

El uso de los aditivos se debe principalmente a los siguientes puntos (Cemex S.A.B de C.V, 2024):

- Reducción del costo de la construcción del concreto.
- Mejorar propiedades de manera más efectiva.
- En el mezclado, transporte, colado y curado del concreto, se mantiene su calidad en condiciones de clima adversos.
- Ayuda a superar emergencias.

El surgimiento de la industria de aditivos en los últimos 50 años ha sido por el uso frecuente de dichas adiciones debido a la gran variedad de estos productos en el mercado, por lo que resulta necesario que los ingenieros constructores tengan conocimiento sobre este tema, pudiendo diferenciar sus ventajas, pero también sus limitaciones ya que se puede proporcionar al concreto para bien o para mal dependiendo el uso y la dosificación que se le dé (Hernández, 2019).

2.3.1 Tipos de aditivos

La incorporación o adición de aditivos en la elaboración de la mezcla de concreto es un método antiguamente empleado por egipcios, griegos y romanos quienes añadieron sustancias o elementos naturales como sangre, grasa animal o leche para potenciar sus propiedades iniciales (YIRSON MONTTOYA et al., 2013). Hoy en día existen productos de síntesis química que han reemplazado en su mayoría a las sustancias naturales que se habían empleado significativamente por motivos económicos, ambientales y técnicos. Por lo tanto, el propósito principal del uso de aditivos es potenciar las propiedades físicas y químicas del concreto en estado fresco o en estado endurecido, por ende, en el

mercado actual se pueden encontrar una variedad de productos (YIRSON MONTOYA et al., 2013).

La eficiencia de un aditivo depende de factores tales como: tipo, marca y cantidad del material cementante, contenido de agua, forma, granulometría y proporción de los agregados, tiempo de mezclado y temperatura del concreto (Steven H. Kosmatka et al., 2004). Debido a que los efectos son variados existen extensas clasificaciones en las cuales es difícil elegir una, debido a que un solo aditivo modifica varias características, y a veces no se cumplen todas las que se especifican (Estela Santiago Patricio, 2011).

Según lo que expresa la Norma Técnica ASTM-C497, nos distingue 7 tipos de aditivos clasificados de esta manera (Estela Santiago Patricio, 2011), (Luis. C. R., n.d.).

- TIPO A: Reductor de Agua. Se debe a la dispersión de las partículas de cemento, mayor resistencia con la misma cantidad de cemento o ahorro de cemento por las mismas resistencias.
- TIPO B: Retardador de Fraguado. Agente que extiende el fraguado de forma controlada, se dosifica para extender el fraguado hasta 30 horas.
- TIPO C: Acelerador de Fraguado. Acelera el tiempo de fraguado y la resistencia a compresión axial a temprana edad.
- TIPO D: Reductor de agua y Retardador. Reduce la hidratación de las partículas de cemento, reduce el agua de la mezcla y plastifica la masa del concreto, provee plasticidad y fluidez adecuada.
- TIPO E: Reductor de Agua y Acelerador. Mejora las propiedades plásticas y de endurecimiento como la resistencia a la compresión y a la flexión, y la trabajabilidad.
- TIPO F: Reductor de Agua de Alto Efecto. Para concreto pretensado y postensado, compatible con agentes inclusores de aire, impermeabilizantes integrales, entre otros. Cada material se agrega por separado.
- TIPO G: Reductor de Agua de Alto Efecto y Retardador. Extiende el tiempo de trabajabilidad del concreto fluido a temperatura hasta 54°.

Los aditivos incorporadores de aire se encuentran separados de este grupo e incluidos en la norma ASTM C260:

- TIPO AA: Inclusor de Aire. Protege del congelamiento y descongelamiento, el concreto se vuelve más resistente a agua corrosiva, sales deshielantes y ataques de sulfatos.

Datos del Comité 212 del ACI, los clasifican según los tipos de materiales constituyentes o a los efectos característicos en su uso (Estela Santiago Patricio, 2011):

- a) Aditivos acelerantes.
- b) Aditivos reductores de agua y que controlan el fraguado.
- c) Aditivos para inyecciones.
- d) Aditivos incorporadores de aire.
- e) Aditivos extractores de aire.
- f) Aditivos formadores de gas.
- g) Aditivos productores de expansión o expansivos.
- h) Aditivos minerales finamente molidos.
- i) Aditivos impermeables y reductores de permeabilidad.
- j) Aditivos pegantes (también llamados epóxicos).
- k) Aditivos químicos para reducir la expansión debido a la reacción entre los agregados y los alcalices del cemento. Aditivos inhibidores de corrosión.

Los aditivos químicos comúnmente se emplean para (Steven H. Kosmatka et al., 2004) ajuste del tiempo de fraguado o endurecimiento, la reducción de la demanda de agua, el aumento de la trabajabilidad (manejabilidad, docilidad), a inclusión intencional de aire y el ajuste de otras propiedades del concreto fresco o endurecido.

- l) Aditivos fungicidas, germicidas o insecticidas.
- m) Aditivos floculadores.
- n) Aditivos colorantes.

El empleo de los aditivos debe ser de manera muy consciente y cuidadosa verificando la influencia que tendrá en las demás características ajenas de las que se desea modificar. Se debe emplear en proporción a las especificaciones del fabricante verificando los resultados en mezclas de prueba y después en obra (Estela Santiago Patricio, 2011).

Existen diversas situaciones en las que el uso de un aditivo es la única opción para obtener el resultado requerido y que posiblemente en casos de emergencias se recurre a utilizarlo para neutralizar el problema.

2.4 El azúcar

En el mundo, en diversas condiciones topográficas y climáticas se cultiva la caña de azúcar, empleando diversos métodos iguales (Olvera-Rincón et al., 2024). Debido a las condiciones favorables que México tenía para el cultivo, los españoles introdujeron la caña de azúcar y con ello se favoreció el rubro económico debido a la comercialización de los productos derivados de ésta (Aguilar Rivera, 2010). Desde el inicio de los años 90, se ha trabajado para obtener ecológicamente mejor y menos dependiente de insumos químicos, una agricultura cañera que actualmente gracias a la tecnología se posee como sustentabilidad económica (Angel Efraín Brambilia, 2021).

En más de 130 países se cultiva la caña de azúcar, los países con mayor producción son: Brasil, India, Tailandia, Pakistán y México (Patishtan-Pérez et al., 2023), predominando en las zonas tropicales.

Entre los primeros 10 países de producción y consumo del azúcar se encuentra México, desarrollándose en 15 entidades federativas y 227 municipios (Fernando Carlos Gómez-Merino, 2014). En las zonas tropicales y subtropicales de México (en el sureste), gracias a la variación climática, la caña de azúcar resulta ser uno de los principales cultivos (Hernández-Pérez et al., 2017). En esta misma zona del país en los últimos 30 años se han presentados variedades de cañas de azúcar cultivando 116 mil hectáreas (Valdez Balero, 2023). Entre los principales estados productores se encuentra Veracruz, San Luis Potosí, Jalisco, Oaxaca y Tamaulipas (Patishtan-Pérez et al., 2023). En México, el cultivo de la caña de azúcar es un factor de impulso social y económico en el campo ya que

genera más de medio millón de empleos directos y más de 2 millones de empleos indirectos (Fernando Carlos Gómez-Merino, 2021). En la actualidad, se destaca en la investigación e industria de la caña la biotecnología, pues protege, registra y va innovando los cultivares de caña de azúcar (José de Souza Silva et al., 2023). Gracias a los avances de la biotecnología y biorrefinerías, se impulsa el desarrollo económico en lo que respecta a la caña de azúcar para generar más coproductos y aprovechar los subproductos como lo son la melaza, el jugo, la panela, el aguardiente y la sacarosa (Aguilar Rivera, 2010). En el proceso agroindustrial de la caña de azúcar el producto final es la sacarosa. El mejor sistema para recuperar la sacarosa es la cosecha mecánica de caña en verde (María Elizabeth Arteaga García & César Augusto Maldonado Cevallos, 2017).

En el aspecto tecnológico, la caña de azúcar se pudiera dar para producción de bioplásticos, carbohidratos alternativos y proteínas de importancia farmacológica. Es fuente importante de alimentos animales, abonos orgánicos y producción de moldeados (Fernando Carlos Gómez-Merino et al., 2015). Como se trata de trabajo de campo (agroindustria), en muchos países, incluido México, existen programas para el manejo de las posibles plagas que se presenten y con ello reducir el impacto de éstas en su rendimiento (Ruiz-Montiel et al., 2015). En la producción del azúcar se generan residuos, lo que resulta ser un problema mundial debido al impacto ambiental. En estudios realizados sobre los residuos de la caña de azúcar se llega a la conclusión de que se pueden usar para la producción de energía como butanol y biogás, de igual manera para alimentos bovinos y como aditivos en la construcción (en el caso de la ceniza de bagazo), pues la caña de azúcar se puede usar como biofertilizante y resulta ser un material importante en las biorrefinerías (García-Culqui et al., 2023).

Debido a aspectos y problemas en proyectos y condiciones climatológicas, el azúcar, que es resultado de la productividad, es uno de los aditivos más importantes para concreto (Reymundo Gamarra, 2024).

2.4.1 Azúcar como aditivo

Con el objetivo de reducir las emisiones de CO₂ a la atmosfera, en años recientes se ha incrementado el reciclado de residuos de la industria como nuevos elementos en la fabricación de mezclas de mortero y concreto. La ceniza de bagazo de caña ha sido un material muy estudiado, debido a que posee una cantidad importante de minerales puzolánicos como sílice y alúmina (Jagadesh et al., 2018; Setayesh Gar et al., 2017; Somna et al., 2012; Torres de Sande et al., 2021). En la mayoría de las investigaciones se demostró que utilizar este residuo como sustituto del cemento en proporciones menores al 40% produce un aumento en la resistencia a la compresión y en los módulos de elasticidad y de ruptura (Srinivasan & Sathiya, 2010).

En la investigación realizada por Vasudha D. Katare, et al. (Katare & Madurwar, 2017) se muestra una caracterización experimental de la ceniza de bagazo de caña de azúcar, mostrando su potencial uso como conglomerante puzolánico en la producción de concreto sustentable y estableciendo las bases para el aprovechamiento de estos subproductos. En el año 2014, Thongtha et al. (Thongtha et al., 2014), comprobaron que el sedimento de la refinación del azúcar utilizado como sustituto de la arena hasta un 30%, generó mayores resistencias a la compresión y aumentó los tiempos de fraguado en mezclas de concreto. El uso del azúcar como aditivo en mezclas con base en cemento se ha realizado de manera empírica y se ha mantenido como un mito en la industria de la construcción, se usó de manera informal y sin ningún control. No fue sino hasta hace años recientes que se analizó su potencial como aditivo retardante. De los primeros investigadores en analizar el efecto de este producto en las mezclas de concreto fueron Sotolongo et al. (Sotolongo et al., 1993), quienes pudieron establecer una relación directa entre el tiempo de fraguado y el porcentaje de azúcar añadida. Álvarez-Guillén (Julio César Alvarez Guillén, 2017) estudió los efectos del azúcar como aditivo para retrasar el fraguado. Los resultados demostraron que si se controlan las cantidades de azúcar añadida a las mezclas es posible obtener buenos resultados en cuanto a la modificación del tiempo de fraguado y a la resistencia. Adicionalmente, concluyó que la azúcar blanca da mejores resultados que la azúcar morena, esto debido a la mayor pureza de la primera. Bustillos Matias et al. (Matias et al., n.d.) utilizaron azúcar blanca como

elemento retardante del fraguado de concreto en la fabricación de techos en climas cálidos. Demostraron que el azúcar aumenta la trabajabilidad de la mezcla, permitiendo una mejor colocación en la cimbra. En este estudio se comprobó que 0.35% de azúcar en peso de cemento, retrasa el fraguado alrededor de cuatro horas. Jaramillo et al. (Jaramillo et al., 2022) demostraron que el uso de azúcar y sus derivados representan una alternativa real como aditivo reductor de agua y retardante del fraguado, mejorando así algunas propiedades de las mezclas de concreto. Por su parte Otunyo et al. (Otunyo & Koate, 2015) observaron que añadir jugo de caña de azúcar a las mezclas de concreto aumenta los tiempos de fraguado, pero reduce las resistencias a la compresión. Soto Gutiérrez (Soto Gutiérrez Luis Felipe, 2019) utilizó la caña de azúcar como aditivo en mezclas de mortero, concluyendo que este aditivo natural trabaja como retardante si su concentración es menor a 0.15% (con respecto al peso del cemento), mientras que, si este porcentaje se superaba, el azúcar actuaba como acelerante. En este último caso se observó una disminución de la resistencia. Al utilizar el azúcar en pequeñas concentraciones se lograron mejoras en la resistencia a la compresión simple a las edades de 7 y 28 días de curado.

El uso del azúcar es de alcance de todos nosotros y su uso como un aditivo natural en el concreto nos brinda una solución rápida, con dosis controladas validadas en laboratorio. Su uso sigue el procedimiento tal cual como un aditivo químico (Reymundo Gamarra, 2024). Según López Álvaro (Alvaró López Ruíz, 1965) observa que al añadir azúcar al concreto con el fin de poner a punto un método de análisis de materia orgánica en concreto fraguado, que no sólo no disminuyó la resistencia veintiocho días como se esperaba, sino que aumentó apreciablemente respecto de la del concreto correspondiente sin adición. También constató una reducción de la demanda de agua y un aumento de la docilidad. En la actualidad existen un sin número de aditivos que mejoran las características del cemento y por ende las características del concreto y morteros, ya sea mejorando la resistencia, la durabilidad y la trabajabilidad, sin embargo, los usos de estos aditivos en cementos suelen provocar elevados costos de producción y operación por lo que incorporar materiales de uso común o denominados naturales como lo es la azúcar se podrían resolver problemáticas, ya que serían de gran ayuda y utilidad (Rocha Argote, 2024). Resulta evidente que el uso del azúcar y sus derivados

son una alternativa viable para mejorar las propiedades del concreto, contribuyendo principalmente a la trabajabilidad de la mezcla y ampliar el tiempo de fraguado. Como se ha evidenciado en la literatura, logra mejorar características de trabajabilidad y ampliación de tiempo de fraguado. Además, constituye una alternativa sostenible, puesto que emplea un material orgánico como lo es la azúcar, lo cual hace parte de la producción agrícola en varias regiones del país (Jaramillo et al., 2022).

2.5 Tiempo de fraguado

El proceso de fraguado se refiere al mecanismo de mezclado en que se hidrata el cemento, acción que induce la activación de sus componentes químicos y fase donde se inicia el endurecimiento del concreto. Esto sucede tanto sumergido en agua (curado) como al aire libre en un ambiente atmosférico como en condiciones de laboratorio. El fraguado puede llevarse a cabo, mediante la inmersión en agua de los cilindros de prueba o con el uso de aditivos acelerantes que no requieren inmersión en agua (Rodríguez Lacayo et al., 2020). El tiempo de fraguado y endurecimiento del concreto depende de factores como son el proporcionamiento de la mezcla, las condiciones ambientales, el tipo y dureza de los agregados. Existen hoy día nuevos equipos cuyas características hacen posible el aserrado en seco (no requieren de agua para el corte) posibilitando la realización del corte del concreto con la sierra poco tiempo después de las operaciones de acabado final (José Luis García Rivero, n.d.). Demostrar que cuanta menos agua se usa, mejor será la calidad del concreto, esto si la mezcla puede consolidarse adecuadamente. Tanto las propiedades del concreto fresco (plástico) como del concreto endurecido pueden presentar cambios sustanciales con la adición de aditivos naturales o químicos, generalmente en la forma líquida, durante la dosificación (Steven H. Kosmatka et al., 2004).

El tiempo de fraguado de la variedad de cementos es una de las características físicas y mecánicas de cumplimiento obligatorio de requerimientos en el Pliego RC-75 y en las Normas de los distintos países del mundo relacionados con el uso del cemento (Gaspar Tébar, 1980). El tiempo de fraguado o velocidad de endurecimiento del concreto es un periodo en el cual, mediante reacciones químicas del cemento y el agua, conducen a un

proceso, que mediante diferentes velocidades de reacción, generan calor y dan origen a nuevos compuestos; éstos en la pasta de cemento generan que éste endurezca y aglutine al agregado de la mezcla de concreto y se ponga fuerte y denso, adquiriendo de este modo una cierta resistencia; este tiempo es de suma importancia, debido a que permite colocar y acabar el concreto (Julio César Alvarez Guillén, 2017).

A diferencia de lo que muchos piensan, el proceso de secado del concreto es mucho más complejo que sencillamente hacer mezcla, vaciarla y dejarla secar. Para que la mezcla pase de líquida a sólida de manera adecuada, se requiere seguir cuidadosamente unas series de pasos (Fraguado Del Concreto, Secado y Curado, 2022):

- Mezclado
- Hidratación
- Transporte
- Colocación
- Compactación
- Fraguado inicial
- Fraguado final
- Curado

A lo largo del tiempo, el sistema cemento-agua (y eventualmente una tercera fase que podría ser el aire) ha experimentado una evolución significativa en su contenido de fase sólida, que oscila entre 70 y 77% en peso. Debido a las reacciones que se producen, se han experimentado a través de diversos métodos (químicos, térmicos, eléctricos, mecánicos, sónicos, reológicos, etcétera) de esta forma, tenemos algunas consideraciones acerca de la determinación del tiempo de fraguado de los cementos (Gaspar-Tébar, 1980):

- a) La variación de la concentración iónica en el agua (disolución intersticial) y/o la evolución de los compuestos del sistema cemento-agua por técnicas instrumentales, por ejemplo: análisis térmicos, difracción de rayos X, espectroscopia infrarroja, análisis microscópico, resonancia magnética nuclear, espectrometría Mossbauer, etc. (Métodos químicos).

- b) El desprendimiento energético que se produce como consecuencia de las reacciones exotérmicas de hidratación. (Métodos térmicos)
- c) La modificación de las propiedades eléctricas del sistema cemento-agua. (Métodos eléctricos).
- d) Las variaciones de las características físico-mecánicas de la pasta de cemento a lo largo del tiempo, por ejemplo: la plasticidad y las resistencias mecánicas, las cuales se pueden seguir por ensayos de penetración (equipo de Vicat, sonda de Tetmajer, aparato de Gillmore, etc.) o por técnicas sónicas que permiten detectar puntos singulares.
- e) La evolución de las características físicas, como por ejemplo las propiedades reológicas, bien por medio del viscosímetro de cilindros coaxiales, por la transmisión de presiones a la pasta de cemento, por sondas dinamométricas, por aparatos rotativos, etc. (Métodos reológicos).

El tiempo de fraguado del cemento puede variar considerablemente dependiendo de varios factores, entre ellos, la composición de la mezcla y las condiciones ambientales, en especial la temperatura (Fraguado Del Concreto, Secado y Curado, 2022):

- Influencia de la temperatura en el fraguado del cemento: En condiciones de temperatura alta, el fraguado puede acelerarse significativamente, tomando unas pocas horas y reduciendo el tiempo disponible para trabajar el concreto. Por el contrario, las temperaturas bajas ralentizan el proceso de hidratación y, esto puede ser particularmente desafiante porque, en casos extremos, el concreto corre el riesgo de dañarse por congelación antes de haber ganado suficiente resistencia.
- Influencia de la mezcla en el fraguado del cemento: Un contenido más alto de cemento en la mezcla puede acelerar el fraguado debido a una mayor concentración de partículas de cemento que reaccionan con el agua. Una mayor cantidad de agua puede diluir la mezcla de cemento y retrasar el fraguado, sin embargo, una baja relación agua-cemento puede dificultar la trabajabilidad del concreto.

- Humedad ambiental: La humedad relativa del ambiente puede afectar la evaporación del agua en el concreto fresco. Una baja humedad puede acelerar la pérdida de agua y, por lo tanto, el fraguado, mientras que una alta humedad puede retrasarlo.
- Tipo y tamaño de los agregados: Los agregados pueden influir en la tasa de hidratación y en el tiempo de fraguado. Agregados más finos o con alta absorción de agua pueden afectar la relación agua-cemento y alterar el proceso de fraguado.

3. JUSTIFICACIÓN

El sector clave para la economía mexicana es la industria de la construcción en el cual el concreto y el mortero son los materiales primarios en este rubro, ya que ayudan a asegurar la estabilidad de las construcciones debido a la resistencia, durabilidad y facilidad de elaboración (Statista Research Department., 2023). Para que el concreto o mortero sea rígido y haya endurecido debe pasar un periodo de tiempo al que se le llama tiempo de fraguado, el cual se divide en fraguado inicial y fraguado final. En dicho periodo, se pueden presentar ampliaciones o retrasos, por lo que se necesita de un aditivo para controlar el tiempo que se requiere utilizando aditivos retardantes o acelerantes, y también para ayudar a conservar o mejorar las propiedades de nuestros materiales.

Comúnmente se utilizan aditivos químicos comerciales lo que implica un impacto negativo para la salud y para el medio ambiente. En los últimos años se ha impulsado fuertemente el uso de aditivos retardantes de origen natural, como por ejemplos aloe-vera (Br. Medina Sevillano, 2021), lignina (Mullick, 1996) y el azúcar (Julio César Alvarez Guillén, 2017). 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 (Julio César Alvarez Guillén, 2017), (Carlos Enrique Bustillos Matias et al., n.d.) .Sin embargo, se ha hecho énfasis solo en el tiempo de fraguado y la resistencia a corto plazo, dejando de lado los efectos en otras características importantes. En esta investigación se pretende analizar el efecto de añadir azúcar como aditivo en mezclas de concreto y mortero, se determinará la cantidad óptima de azúcar para obtener un aumento en el tiempo de fraguado, se analizarán la resistencia a la compresión simple (a corto, mediano y largo plazo), la resistencia al corte de las mezclas, y la durabilidad. 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.

4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿El aditivo natural, como el azúcar funciona como retardante o acelerante?

¿Mantiene sus propiedades mecánicas al colocarle el aditivo natural a las mezclas de concreto?

5. HIPÓTESIS

Los morteros y concretos elaborados con adición de azúcar de mesa aumentarán sus tiempos de fraguado sin cambiar sus principales propiedades mecánicas.

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

Determinar los efectos en el comportamiento mecánico en pasta de cemento, así como en mezclas de mortero y concreto que utilizan azúcar como aditivo natural.

6.2 Objetivos específicos

- Identificar el efecto de añadir azúcar en los tiempos inicial y final de fraguado en las mezclas a base de cemento;
- Determinar los cambios en las propiedades mecánicas de morteros y concretos elaborados con adición azúcar.

7. METODOLOGÍA

7.1 Material y Equipo

Los materiales utilizados fueron:

Agua. Tomada de la red de agua potable entubada (llave), no destilada.



Figura 7. 1 Agua

Arena. Arena de río del banco “Samaria” del municipio de Cunduacán, Tabasco.

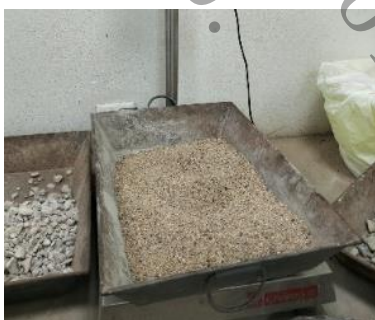


Figura 7. 2 Arena

Azúcar. Azúcar morena convencional de uso común y comercial. De acuerdo con la marca usada, el azúcar proviene de la cosecha de caña en campos de México, evitando el uso de fertilizantes o pesticidas en los cultivos, dando certeza de que está libre de

ingredientes químicos que pudieran afectar las propiedades naturales de la caña (Zulka Azúcar de Caña Origen Natural “Azúcar Morena,” 2020).



Figura 7. 3 Azúcar

Cemento. Cemento Portland Compuesto, Clase Resistente 30 de Resistencia Rápida (CPC 30 R) de la marca Moctezuma, cumple con las especificaciones de calidad establecidas en la Norma Mexicana NMX-C-414-ONNCCE (Cementos Moctezuma, “CPC 30R/ Cemento Portland Compuesto.”, n.d.).



Figura 7. 4 Cemento

Grava. Grava del Banco "Escudero", localizado sobre la carretera Raudales de Malpaso-El Bellote, km 125 +500 en el estado de Tabasco.



Figura 7. 5 Grava

Entre el equipo utilizado se encuentran:

1. Aguja de Vicat.



Figura 7. 6 Aguja de Vicat

2. Báscula.



Figura 7. 7 Báscula 1



Figura 7. 8 Báscula 2

3. Charola metálica (para vaciado del concreto).

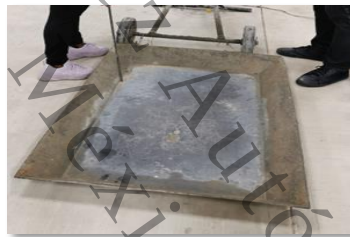


Figura 7. 9 Charola metálica (concreto)

4. Cono de Abrams (para medir fluidez de un concreto).



Figura 7. 10 Cono de Abrams

5. Cono metálico (para medir fluidez en mortero).



Figura 7. 11 Cono metálico (para fluidez en pasta y mortero)

6. Cono (para medir densidad en mortero).



Figura 7. 12 Cono (para densidad en mortero)

7. Cono plástico para tiempo de fraguado.



Figura 7. 13 Cono de plástico (para tiempo de fraguado)

8. Cronómetro.

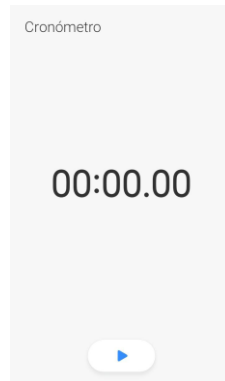


Figura 7. 14 Cronómetro digital

9. Cucharón metálico.



Figura 7. 15 Cucharón metálico

10. Espátula.



Figura 7. 16 Espátula

11. Estufa eléctrica.



Figura 7. 17 Estufa eléctrica

12. Franelas.



Figura 7. 18 Franela

13. Flexómetro.



Figura 7. 19 Flexómetro

14. Horno.



Figura 7. 20 Horno

15. Mallas para granulometría (finos y gruesos).



Figura 7. 21 Mallas (Granulometría)

16. Máquina de ensayos de compresión.



Figura 7. 22 Máquina de ensayos de compresión

17. Martinete (para dar golpes al mortero).



Figura 7. 23 Martinete

18. Mesa de abatimiento (donde se dan los golpes para obtener la fluidez).



Figura 7. 24 Mesa de abatimiento

19. Mezclador estándar.



Figura 7. 25 Mezclador estándar

20. Molde cilíndrico (para las muestras de concreto).



Figura 7. 26 Molde metálico (para muestras cilíndricas de concreto)

21. Molde metálico de 5cm x 5cm x 5cm (para las muestras de cubos de pasta y mortero).



Figura 7. 27 Moldes metálicos (para muestras cúbicas de pasta y mortero)

22. Pala.



Figura 7. 28 Pala

23. Placa de cristal (para densidad de mortero).



Figura 7. 29 Placa de cristal

24. Recipiente metálico (para hervir).



Figura 7. 30 Recipiente metálico

25. Revolvedora manual.



Figura 7. 31 Revolvedora manual

26. Varilla de apisonamiento (para dar golpes al concreto).



Figura 7. 32 Varilla de apisonamiento

27. Vaso de precipitado.



Figura 7. 33 Vaso de precipitado

28. Vernier.



Figura 7. 34 Vernier

7.2 Procedimiento experimental

Como primer paso primero se analizaron los cambios de añadir azúcar en pastas de cemento.

Dosificación

Para pasta:

En el trabajo de investigación sobre pastas de cemento del autor Luis Felipe Soto Gutiérrez (Soto Gutiérrez Luis Felipe, 2019) se obtuvo que una de las mejores proporciones para una dosificación de una pasta de cemento es 650 g de cemento y 169 g de agua. Para la presente investigación que se hizo se utilizó dicho proporcionamiento.

Las dosificaciones que se propusieron para determinar el efecto de añadir azúcar en las pastas de cemento se muestran en la **Tabla 7.1**.

Tabla 7. 1 Dosificación de pastas de cemento.

Pasta	% 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

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. La elaboración de todas las pastas de cemento fue con una fluidez de 180

mm con un margen de error permisible de ± 5 mm. La fluidez fue determinada de acuerdo con la norma ASTM C1437 (ASTM C1437-20, 2020).

Para mortero:

La proporción para la dosificación de mortero se realizó siguiendo el criterio descrito por Miguel Antonio Saad (1979), estableciendo como óptima la proporción cemento-arena 1:4.

Tabla 7. 2 Dosificación de mortero.

Mortero	% de azúcar	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (lts)	Fluidez
Control	0	611	2735	395	179.5
AZM_0.10	0.1	611	2735	327	181.2
AZM_0.20	0.2	611	2735	314	180.6
AZM_1.0	1.0	611	2735	320	182.4
AZM_1.1	1.1	611	2735	341	183.9
AZM_1.4	1.4	611	2735	362	184.0
AZM_1.5	1.5	611	2735	386	181.5

La elaboración de todos los morteros fue con una fluidez de 180 mm con un margen de error permisible de ± 5 mm. La fluidez fue determinada de acuerdo con la norma ASTM C1437 (ASTM C1437-20, 2020).

Para concreto:

Siguiendo la dosificación de las mezclas de concreto, se tiene que para obtener un concreto convencional de $f'_c=250$ kg/cm² las proporciones a utilizar son 9.32 kg de cemento, 6 litros de agua, 39.87 kg de grava y 22.51 kg de arena. De tal manera que la dosificación para elaborar nuestras muestras de concreto, se presentan en la Tabla 7.3. Dosificación de concreto.

Tabla 7.3 Dosificación de concreto.

Concreto	% de azúcar	Cemento (kg)	Grava (g)	Arena (g)	Agua (lts)	Revenimiento
Control	0	9.32	39.87	22.51	7.85	10.24
AZC_0.10	0.1	9.32	39.87	22.51	7.68	10.59
AZC_0.20	0.2	9.32	39.87	22.51	7.27	9.24
AZC_1.0	1.0	9.32	39.87	22.51	7.18	11.17
AZC_1.1	1.1	9.32	39.87	22.51	7.20	10.80
AZC_1.4	1.4	9.32	39.87	22.51	7.71	11.63
AZC_1.5	1.5	9.32	39.87	22.51	7.92	11.20

La elaboración de todas las muestras de concreto fue con un revenimiento de 10 cm con un margen de error permisible de ± 2.5 cm.

Preparación del azúcar

Para la preparación del azúcar para adición al concreto, mortero y pastas se ejecutaron procedimientos en los que se probaron distintos métodos de elaboración, debido a que en cada uno de ellos influían factores que alteraban los resultados y no se llegaba a una fórmula con exactitud.

Se comenzó analizando la opción más viable para adicionar el azúcar en porcentajes considerables, fue fundamentado con investigaciones previas, de manera que se optó por realizar mezclas de cemento-agua (pastas) debido a la mayor trabajabilidad que se tenía conforme a la metodología que se ocupó.

Como primer paso se planteó la preparación de la mezcla con la finalidad de tener resultados de Control donde se consiguió tener un punto de partida, para este paso se tomaron medidas en los materiales a ocupar de 650 gr de cemento, 150 ml de agua y se requirió 3 minutos de un primer mezclado donde se analiza la pasta y se dictamina si será apta para las pruebas que se tienen que cumplir, de esta forma se da un segundo

mezclado de 2 minutos más donde se agregó 45 ml más de agua, de modo que tenemos 5 minutos totales con 195 ml de agua en la mezcla final.

En el siguiente paso se efectuó el desarrollo de la prueba de fluidez en el que se verifica la mezcla que previamente fue pasada por la mezcladora y colocada en su respectivo molde para recibir golpes con el martinete en la mesa de abatimiento, de esta manera quedó una circunferencia de mezcla en la que se contrasta la medida que se requirió, $18 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ de posible margen.

Se continuó con el proceso de tiempo de fraguado en el que se realiza una pequeña bola de mezcla en la que será colocado en su respectivo molde para que se tomen los datos en el aparato de Vicat, teniendo una secuencia para tomar datos de 30 minutos inicialmente y conforme la mezcla vaya fraguando reducir el tiempo para tomar la medida, este proceso es realizado para constatar el tiempo inicial y final de fraguado para que pueda ser agregado a una tabla.

De esta manera se examinó detalladamente la prueba de Control para dar paso al añadido de azúcar de una forma proporcional y que cumpliera con los pasos anteriores con lo que respecta a fluidez, se tomaron muestras de 10%, 5%, 2%, 1% y 0.5% en las que consecuentemente existió una variación de agua requerida es decir que alteraba la fluidez y los porcentajes de 10% y 5% no se podían medir su fluidez, existía una alteración en su composición que no permitía que la mezcla llegara a un punto más sólido, con los porcentajes restantes se buscó perfeccionar el porcentaje de azúcar con el agua requerida en el Control, se siguió los pasos antes mencionados y se llegaron a resultados en los que se puede destacar que es de vital importancia tener en cuenta los factores que intervienen en los resultados finales de las muestras realizadas porque nos llevó a demostrar que no fuera satisfactorio este método.

Se definió una nueva metodología para la adición de porcentajes de azúcar a la mezcla, de manera que fue apoyado y fundamentado por una ingeniera en química para presentarnos una fórmula en la que se puede retomar las pruebas fallidas para reconstruir y retomar los datos que se requieren, de esta manera tenemos que:

$$\text{Porcentaje} = \text{Peso} / \text{Volumen} (\% = P / V)$$

$$\% \frac{P}{V} = \frac{\text{g del soluto}}{\text{mL de solución}} \times 100$$

Despejando: g de soluto:

$$\text{g del soluto} = (2 \%) \times (1000 \text{ mL de solución})$$

Nota: 2% = 0.02 sin %

Entonces tenemos:

$$\text{g del soluto} = 20 \text{ gramos}$$

“Por cada litro de agua se utilizaría 20 gramos de azúcar”.

Se calcula con esta nueva fórmula y de acuerdo con los datos que se tenían en las pruebas iniciales se evalúan los nuevos porcentajes para reajustar las pruebas y tener datos más precisos, teniendo así un nuevo Control y 6 pruebas diferentes de porcentajes: 0.10%, 0.20%, 1.00%, 1.06%, 1.10% y 1.40%.

Teniendo en cuenta para la reformulación de pruebas se ocupará la misma cantidad de cemento y el tiempo de mezclado para la realización de Control, para las demás pruebas se buscó categorizar un tiempo igualitario, es decir que la prueba quedara establecida en un tiempo de 5 minutos de mezclado con una fluidez dentro del rango requerido. Esto que se realizó fue con el fin de tener mayor precisión y que exista una tendencia a los datos que fueron recabados.

Se determinó un concentrado para cada porcentaje mencionado en el que se tomó como base 500 mililitros de agua para tener una correlación entre las cantidades ocupadas, de tal manera que se comenzó introduciendo nuestros datos a la fórmula descrita anteriormente para el porcentaje de AZ_0.10%

$$\text{g de azúcar morena} = (0.10 \%) \times (500 \text{ mL de agua}) = \mathbf{0.5 \text{ gramos de azúcar}}$$

Teniendo la cantidad de azúcar que se añadiría a los 500 mililitros de agua se prepara en un vaso de precipitado agregando los 0.5 gramos de azúcar y diluyendo completamente hasta tener una mezcla homogénea.

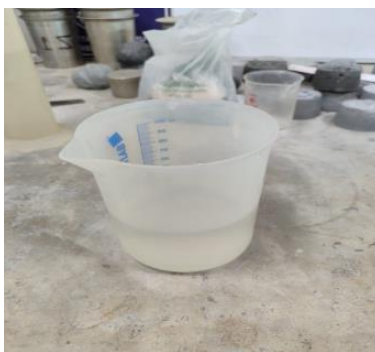


Figura 7. 35 Concentrado AZ_0.10%

De esta forma se introduce el cemento a la mezcladora cuidando que no se pierda material en el proceso, se continúa con el mezclado del cemento de 40 a 50 segundos para evitar todo tipo de imperfección o pequeños grumos en el mismo, en lo que transcurre el tiempo de mezclado se fue vertiendo el concentrado de azúcar en el cemento, en cuanto el concentrado tocaba el cemento se iniciaba el tiempo cronometrado del mezclado, transcurrido un minuto se observaba que la pasta de cemento-agua comenzaba a tomar una consistencia fluida y se observó que disminuyó la cantidad de agua requerida con respecto al Control.



Figura 7. 36 Mezclado de pasta (agua-cemento)

Pasado los 5 minutos de mezclado se procede a retirar la mezcla por medio de espátulas para situarla en el cono metálico previamente colocado en la mesa de abatimiento, se continúa con el relleno de material en el cono contemplando que se harán en 3 capas de 25 golpes por cada capa, se busca que se distribuya de manera uniforme, se detalla con la espátula para que se tenga un buen enrasado y no haya excedente de volumen de pasta o mezcla.



Figura 7. 37 Enrasado de pasta

De tal forma se requiere retirar el cono y debe permanecer la mezcla sobre la mesa de abatimiento (conservando la forma y volumen del cono) donde se prepara para recibir 25 golpes con el mismo equipo de abatimiento, en el que el operador debe tener una misma velocidad actuante en cada uno de los golpes, que sean consecutivos y constantes buscando llegar a un resultado en el que la fluidez y su medida se encuentre dentro del rango y los parámetros necesarios para proseguir.



Figura 7. 38 Golpes en mesa de abatimiento

Se continúa con la medición de fluidez a través de un promedio de varias mediciones para identificar que es indicado para realizar la prueba de Vicat, previamente la mezcla se moldea de forma manual buscando que tome el volumen del nuevo cono de plástico en el cual será llevado a la cámara de curado y previamente enrasado siguiendo las pautas anteriores, así de esta manera comenzar con la prueba y registrar los resultados obtenidos.



Figura 7. 39 Mediciones de fluidez



Figura 7. 40 Moldeo de mezcla para el cono de plástico



Figura 7. 41 Ensayo de Vicat después del moldeo de la mezcla

De esta manera se puede registrar el proceso de preparación de azúcar para cada porcentaje en el que se puede destacar que existe una variación pequeña de agua requerida al final de cada mezclado, por lo que este método resultó exitoso y se obtuvieron datos con una tendencia a un aditivo retardante y de igual manera como acelerante.

7.3 Determinación de tiempo de fraguado.

La primera prueba para el análisis de la adición del azúcar en las mezclas de mortero y concreto fue el tiempo de fraguado. El tiempo de fraguado se determinó en base a la norma ASTM C191 (ASTM C191-08, 2008) de la siguiente manera:

- Paso 1. En una mezcladora estándar de mortero a velocidad baja (140 rpm) se coloca primero la cantidad de cemento deseada.



Figura 7. 42 Colocación del cemento

Paso 2. Después de colocar el cemento se agrega el agua con el porcentaje de azúcar correspondiente, de manera gradual durante un minuto. En cuanto el agua toca el cemento se comienza el mezclado.



Figura 7. 43 Agua y mezclado

Paso 3. Se continua con el mezclado durante cuatro minutos más.

Paso 4. Cumplido los 5 minutos de mezclado, se retira la pasta de la mezcladora y se lleva a la mesa de abatimiento para hacer la prueba de fluidez. Dicha prueba se determinó de acuerdo con la norma ASTM C1437 (ASTM C1437-20, 2020).



Figura 7. 44 Pasta final para la prueba de fluidez

Paso 5. Se coloca dentro del cono una primera capa de la pasta recién mezclada a un poco arriba de un tercio de la altura del cono, con el martinete se le dan 25 golpes.



Figura 7. 45 Llenado y golpes con martinete

Paso 6. Seguidamente se coloca una segunda capa de la pasta hasta llegar un poco arriba de dos tercios la altura del cono y nuevamente se le dan 25 golpes con el martinete.

Paso 7. A continuación, se coloca una tercera capa de la pasta la cual debe rebosar levemente el cono, se le dan los 25 golpes con el martinete y luego se enrasa con la espátula.



Figura 7. 46 Enrasado

Paso 8. Una vez que se ha llenado completamente y ha sido enrasado, se retira el cono y con el equipo se comienzan a dar los 25 golpes. Cumplidos los 25 golpes, con el flexómetro se mide el diámetro de la circunferencia que se formó, se tomaron cinco medidas de éste para tomar el promedio como el dato obtenido el cual debe ser $180 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$.



Figura 7. 47 Resultado de fluidez

Paso 9. Dada la fluidez de la pasta de $180 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, se llevó al aparato de Vicat para determinar su tiempo de fraguado de acuerdo con la norma ASTM C191 (ASTM C191-08, 2008). La pasta se colocó dentro de un molde siendo enrasado por debajo con una placa de cristal, seguidamente se colocó en el aparato de Vicat ya calibrado y se tomó la primera medida correspondiente al primer tiempo.



Figura 7. 48 Lectura de la primera penetración en la prueba de tiempo de fraguado

Paso 10. Luego de tomar el primer valor, la pasta se colocó dentro de una cámara de curado para que no estuviera expuesta a cambios de temperatura y no perdiera su humedad.

Paso 11. En un lapso de media hora se saca la pasta de la cámara de curado y se coloca de nuevo en el aparato de Vicat para tomar la segunda medida. En cuanto cambió el valor obtenido de la penetración de la aguja en la pasta, el tiempo para ir midiendo fue disminuyendo, de 30 minutos continuamos con 15 minutos, luego con 10 minutos, hasta que ya no se pudo tomar ninguna medida.

Paso 12. Las muestras realizadas con cada porcentaje de azúcar se guardaron con la finalidad de conocer su tiempo de fraguado.

7.4 Determinación de densidad.

7.4.1 Densidad para una pasta:

El segundo ensayo se realizó de acuerdo con la norma ASTM C642 (ASTM C642-21, 2021), para una pasta de cemento de la siguiente manera:

Paso 1. Se hizo la pasta para cada porcentaje de azúcar como se describió en el procedimiento anterior para el ensayo de tiempo de fraguado.



Figura 7. 49 Pasta

Paso 2. Una vez hecha la pasta, de la misma manera se determinó su fluidez de 180 mm $\pm$ 5mm.



Figura 7. 50 Fluidez de 180mm $\pm$ 5mm

Paso 3. Obtenida la fluidez, se llevó la pasta a un molde metálico para hacer tres cubos de 5 cm por lado, se realizaron las tres muestras para cada porcentaje de azúcar.

Paso 4. Se coloca dentro del primer cubo una primera capa de la pasta recién mezclada a un poco arriba de un tercio de la altura del cubo y se le dan 25 golpes con una varilla metálica simulando el martinete (se hace lo mismo en el segundo y tercer cubo), ya que los tres cubos del molde tienen la primera capa con sus 25 golpes se procede a dar dos golpes por lado con un martillo de goma para que por medio de ese vibrado se rellenen los vacíos.

Paso 5. Seguidamente se coloca una segunda capa de la pasta hasta llegar un poco arriba de dos tercios la altura del cubo y nuevamente se le dan 25 golpes con la varilla metálica,

de nuevo se hace lo mismo para el segundo y tercer cubo, y se le dan los dos golpes de cada lado para eliminar los vacíos con el vibrado.

Paso 6. A continuación, se coloca una tercera capa de la pasta la cual debe rebosar levemente el cubo, se le dan los 25 golpes con la varilla, se repite para el segundo y tercer cubo y se golpea para el vibrado.



Figura 7. 51 Llenado y golpes de las muestras cúbicas

Paso 7. Concluida las tres capas se enrasa con la espátula cada uno de los cubos y se deja fraguar 24 horas.



Figura 7. 52 Enrasado de las muestras cúbicas

Paso 8. Después de concluir las 24 horas, se desmoldan las muestras realizadas y se meten a saturar en el límite de tiempo a estudiar.



Figura 7. 53 Muestras de pasta (agua-cemento) saturadas

Paso 9. Cumplido el tiempo de saturación, las muestras se ponen a hervir en el recipiente con agua.

Paso 10. Después de hervir, las muestras se dejan en el recipiente por 24 horas.

Paso 11. Al pasar las 24 horas, se sacan las muestras y se hace la prueba SSS (saturado superficialmente seco) que consiste en secar las 6 caras de cada cubo durante 5 minutos.



Figura 7. 54 Prueba de SSS en muestras cúbicas de pasta

Paso 12. Seguidamente, al término de hacer la SSS, se registró el peso de cada una de las muestras.



Figura 7. 55 Peso de la muestra después de la SSS

Paso 13. Obtenido el dato del peso saturado superficialmente seco de cada muestra, se procede a meter las tres muestras al horno a una temperatura de 110°C durante 24 horas.

Paso 14. Finalmente, al término de las 24 horas en el horno, las muestras se sacan y se espera aproximadamente 2 horas para su secado a temperatura ambiente, y se registra el peso de cada una de ellas, el cual será el peso seco de cada muestra.

Paso 15. Al final el valor de la densidad será el calculado por:

$$D = \frac{W}{V}$$

Donde:

D = Densidad en estado seco (g/cm³).

W = Peso seco de la muestra (g).

V = Volumen de la muestra (cm³).

7.4.2 Densidad para mortero:

En base a la norma ASTM C642 (ASTM C642-21, 2021), para determinar la densidad de los morteros se siguió como se indica en los pasos siguientes:

Paso 1. En la mezcladora estándar se colocó la cantidad de cemento correspondiente y la cantidad de arena, ambas de acuerdo con la dosificación determinada y se deja mezclar durante un minuto.



Figura 7. 56 Arena y cemento

Paso 2. Una vez mezclado los dos materiales se le agrega la cantidad de agua requerida y se mezcla durante 5 minutos.



Figura 7. 57 Agua agregada a la mezcla de mortero

Paso 3. Terminada la mezcla, se saca y se lleva a la mesa de abatimiento y se determina la fluidez de la misma manera en la que se describió para una pasta de cemento, de acuerdo con la norma ASTM C1437 (ASTM C1437-20, 2020).

Haciendo tres capas en el cono, cada una con 25 golpes dados con el martinete, se retira el cono y seguidamente se le dan los 25 golpes continuamente.



Figura 7. 58 Capas en el llenado del cono

Paso 4. Se mide la circunferencia con un flexómetro y el resultado de la fluidez debe ser de $180 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$.



Figura 7. 59 Medida de fluidez en la mezcla de mortero

Paso 5. Luego, con la mezcla hecha correctamente se procede a hacer las muestras de mortero para ellos se hicieron tres barras para el control y para cada porcentaje de azúcar siguiendo el mismo procedimiento que los cubos de pasta de cemento.

Paso 6. La mezcla de mortero se colocó en el molde en tres capas, cada una con 25 golpes dados con la varilla metálica y con su respectivo vibrado. Al terminar se enrasa con la espátula, se limpia y se deja fraguar por 24 horas.



Figura 7. 60 Muestra de barra de mortero



Figura 7. 61 Muestra de los cubos de mortero

Paso 7. Al concluir las 24 horas, cada muestra se desmolda y se meten a saturar en el límite de tiempo a estudiar.

Paso 8. Ya que se cumple el tiempo de saturación, se ponen a hervir las muestras realizadas en un recipiente metálico con agua y después se retiran de la estufa para dejarlas saturadas, así como están por 24 horas.

Paso 9. Después de las 24 horas, cada una de las muestras se sacan y seguidamente se hace la prueba de SSS (saturado superficialmente seco) que consiste en secar las 6 caras de cada cubo durante 5 minutos, frotando cada cara con una franela.



Figura 7. 62 Prueba de SSS en muestras de mortero

Paso 10. Al terminar de hacer la SSS, se registró el peso de cada una de las muestras el cual corresponde al peso superficialmente seco y enseguida de 4 meten las muestras al horno a temperatura de 110° C durante 24 horas.

Paso 11. Finalmente, después de las 24 horas en el horno, se retiran las muestras del horno y se secan a temperatura ambiente 2 horas. Concluidas las dos horas se registra el peso de cada una de las muestras el cual será el peso seco.

El valor final de la densidad será el calculado por:

$$D = \frac{W}{V}$$

Donde:

D = Densidad en estado seco (g/cm³).

W = Peso seco de la muestra (g).

V = Volumen de la muestra (cm³).

7.4.3 Densidad para concreto:

Paso 1. En una revolvedora manual se coloca primero la arena y la grava y se deja mezclar durante 1 minuto.

Paso 2. Transcurrido el minuto se agrega el cemento y el agua con el porcentaje de azúcar correspondiente. En cuanto el agua toca el cemento se comienza el mezclado.



Figura 7. 63 Mezclado de todos los materiales

Paso 3. Se continua con el mezclado durante cuatro minutos más.

Paso 4. Cumplido los 5 minutos de mezclado, se vacía la mezcla de concreto de la revolvedora hacia la charola metálica para hacer la prueba de fluidez. Dicha prueba se determinó de acuerdo ASTM C1437 (ASTM C1437-20, 2020).



Figura 7. 64 Vaciado de la mezcla de concreto

Paso 5. Al tener la mezcla en la charola, se revuelve con una pala para terminar de revolver mejor la mezcla de concreto hecha en la revolvedora y se acomoda el equipo para hacer la prueba.



Figura 7. 65 Equipo para obtener el revenimiento

Paso 6. Se coloca dentro del cono una primera capa de la mezcla recién hecha a un poco arriba de un tercio de la altura del cono, con la varilla apisonada se le dan 25 golpes.



Figura 7. 66 Número de golpes dados a la mezcla de concreto

Paso 7. Seguidamente se coloca una segunda capa de la mezcla hasta llegar un poco arriba de dos tercios la altura del cono y nuevamente se le dan 25 golpes con la varilla apisonada.

Paso 8. A continuación, se coloca una tercera capa de la mezcla la cual debe rebosar levemente el cono, se le dan los 25 golpes con la varilla apisonada y con ella misma luego se enrasa.



Figura 7. 67 Enrasado del cono con mezcla de concreto

Paso 9. Una vez que se ha llenado completamente y ha sido enrasado, se retira el cono y se procede a medir con un flexómetro la altura desde el suelo hasta el pico más alto de la mezcla, si la medida está dentro del rango de medida para esta investigación ($10 \text{ cm} \pm 2.5 \text{ cm}$.) se puede continuar con el procedimiento.



Figura 7. 68 Medida del revenimiento

Paso 10. Se toma el molde cilíndrico y se comienza a llenar con la mezcla de concreto. Se coloca una primera capa de mezcla de concreto y con la varilla apisonada se le dan 25 golpes, seguidamente se le dan tres golpes para simular el vibrado y así poder eliminar los espacios vacíos.



Figura 7. 69 Llenado de los cilindros con mezcla de concreto con el número de golpes

Paso 11. Se coloca una segunda capa a $\frac{2}{3}$ la altura del cilindro y de la misma manera se le dan 25 golpes con la varilla de apisonamiento y los tres golpes de vibrado.

Paso 12. Por último, se llena el molde con la tercera capa rebosando un poco. Se dan los 25 golpes con la varilla de apisonamiento y luego los tres golpes para el vibrado. Una vez que se ha llenado el molde correctamente se procede a enrasar.

Paso 13. Al enrasar, se limpia también el exceso que haya quedado alrededor del molde, y este se tapa para dejarlo fraguar 24 horas.



Figura 7. 70 Limpieza de la muestra de concreto

Paso 14. Ya que los cilindros han fraguado, se desmoldan y se colocan en una pileta de agua para su curado, cada muestra se mantiene ahí hasta el tiempo a estudiar.



Figura 7. 71 Muestras cilíndricas de concreto en la pileta para su curado

7.5 Determinación de resistencia.

7.5.1 Determinación de resistencia para pasta:

Este ensayo se realizó de acuerdo con la norma ASTM C109 (ASTM C109-21, 2021), consiste en someter a las muestras de cemento a una carga axial mediante una prensa hidráulica.

Paso 1. Se realiza la pasta a como ya se ha mencionado anteriormente en el apartado 7.3 Determinación de tiempo de fraguado, de acuerdo con cada porcentaje de azúcar estudiado.

Paso 2. Se determina la fluidez de la pasta de acuerdo con la norma ASTM C1437 (ASTM C1437-20, 2020) descrita en los puntos anteriores la cual debe ser de $180 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$.



Figura 7. 72 Fluidez en la pasta

Paso 3. Se elaboran las muestras y se calcula la densidad de cada una de ellas a como se describió en el punto de la determinación de la densidad.

Paso 4. Una vez tomado el peso seco de cada muestra, se llevan a la prensa hidráulica.



Figura 7. 73 Peso seco de una muestra de pasta con 0.2% de azúcar

Paso 5. Con la ayuda de un operador, se coloca la muestra debajo de la prensa, en la cual a una velocidad constante aplica una carga axial sobre la muestra.

Paso 6. El operador se detiene hasta que se ve como la muestra empieza a presentar las primeras grietas sin llegar al punto en que ésta se colapsa.

Paso 7. Seguidamente el operador muestra en la pantalla la carga axial máxima que soportó la muestra elaborada.



Figura 7. 74 Carga axial soportada por la muestra de pasta

Paso 8. Finalmente, la resistencia a la compresión se determinó con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{P}{A}$$

Donde:

R = Resistencia a la compresión simple (kg/cm²).

P = Carga axial (kg).

A = Área en la que se aplica la carga (cm²).

7.5.2 Determinación de resistencia para mortero.

Paso 1. Se realiza la mezcla de mortero de acuerdo con cómo se describió en el apartado 7.4.2 para cada porcentaje de azúcar.



Figura 7. 75 Mezcla de mortero

Paso 2. Se determina la fluidez (norma ASTM C1437 (ASTM C1437-20, 2020)) de $180 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, se elaboran las muestras y se calcula la densidad a como se describe en el apartado 7.4.2.



Figura 7. 76 Fluidez en mortero

Paso 3. Al obtener el peso seco de muestra y haber calculado la densidad, se lleva cada muestra a la prensa hidráulica y con ayuda de un operador se sigue el proceso.



Figura 7. 77 Muestras de mortero para ensayo de resistencia a la compresión

Paso 4. Se coloca la muestra de mortero debajo de la prensa hidráulica y se le aplica una carga axial a una velocidad constante.

Paso 5. Cuando se observen las primeras grietas el operador se detiene y muestra en la pantalla la carga axial máxima que soportó la muestra antes de que ésta colapsara.



Figura 7. 78 Carga axial soportada por la muestra de mortero

Paso 6. Al final, para calcular la resistencia a la compresión de dicho mortero, se usa la siguiente ecuación:

$$R = \frac{P}{A}$$

Donde:

R = Resistencia a la compresión simple (kg/cm²).

P = Carga axial (kg).

A = Área en la que se aplica la carga (cm²).

7.5.3 Determinación de resistencia para concreto:

Paso 1. Se realiza la mezcla de concreto y se determina su revenimiento a como se indica en el apartado 7.4.3. para cada porcentaje de azúcar.

Paso 2. Al estar correctamente hecha la mezcla, se hacen las muestras cilíndricas y se determina su densidad.



Figura 7. 79 Muestras de concreto para ensayo de resistencia

Paso 3. Obtenido el dato de la densidad, se lleva cada muestra realizada a la prensa hidráulica y con ayuda del mismo operador con el que se realizó el procedimiento para pasta y mortero se sigue el mismo procedimiento que en los dos apartados anteriores.

Paso 4. El operador coloca el cilindro debajo de la prensa hidráulica y aplica una carga axial a velocidad constante.



Figura 7. 80 Cilindro de concreto debajo de la prensa hidráulica

Paso 5. Al aparecer las primeras grietas el operador se detiene y muestra en pantalla el valor de la carga axial máxima soportada antes de que la muestra colapsara.



Figura 7. 81 Muestra de concreto con la carga axial aplicada



Figura 7. 82 Resultado final de una muestra de concreto después del ensayo de compresión simple

Paso 6. Para determinar la resistencia a la compresión de dichos cilindros, también se utilizó la siguiente ecuación:

$$R = \frac{P}{A}$$

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).

*Observaciones:

En la primera metodología se expresó aquellos factores que afectaron los resultados para las muestras con diferentes porcentajes en lo que se destacan:

- La temperatura donde se estuvieron realizando las pruebas, es decir, la afectación del aire acondicionado conforme a una temperatura alta o muy baja.
- El tiempo de mezclado, con respecto a la velocidad de la mezcladora
- El tiempo en el que se tomarán las medidas, hay que llevar un buen control para evitar alteraciones en la tendencia de resultados.
- Una cámara de curado adecuada sin ninguna falla o alguna clase de fuga o abertura que impida la temperatura neutral que se tiene en ella.

8. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos realizados sobre muestras de pastas de cemento, mortero y concreto.

8.1 Muestras de pastas

La Figura 4.1 muestra la cantidad de agua que se requirió para la elaboración de todas las muestras de las pastas de cemento. Se observa que en general con respecto a la muestra de control existe una reducción de entre 2.6% y 5.7%, esta disminución se debe principalmente a la incorporación del azúcar.

En la Figura 4.2 se observan los tiempos de fraguado de las mezclas analizadas. En esta figura se pueden distinguir tres zonas. La primera comprende los contenidos de azúcar menores a 0.2%, en este rango la azúcar funciona como aditivo retardante, es decir, aumenta el tiempo requerido para lograr el fraguado. Este comportamiento es requerido en algunas situaciones particulares en la industria de la construcción. La segunda zona de comportamiento se sitúa para los porcentajes de 0.2% y 1.0%. Para estos porcentajes se observó que el tiempo de fraguado excedió las ocho horas, lo cual vuelve inviable su uso en la industria de la construcción, ya que durante este tiempo es probable que las mezclas alteren su contenido de agua (secado/lluvia) con lo que las propiedades mecánicas de las mezclas se verían considerablemente alteradas. La tercera zona que se identifica en la Figura 4.2 comprende a los porcentajes mayores a 1.0%, a partir de este porcentaje los tiempos de fraguado se reducen paulatinamente, es decir, para estos porcentajes la azúcar funciona como aditivo acelerante. Sin embargo, para porcentajes mayores a 1.4% de azúcar, las pastas de cemento fraguan tan rápido que fue imposible colocarles en su molde.

La Figura 4.3 muestra las densidades en estado endurecido de las pastas de cemento.

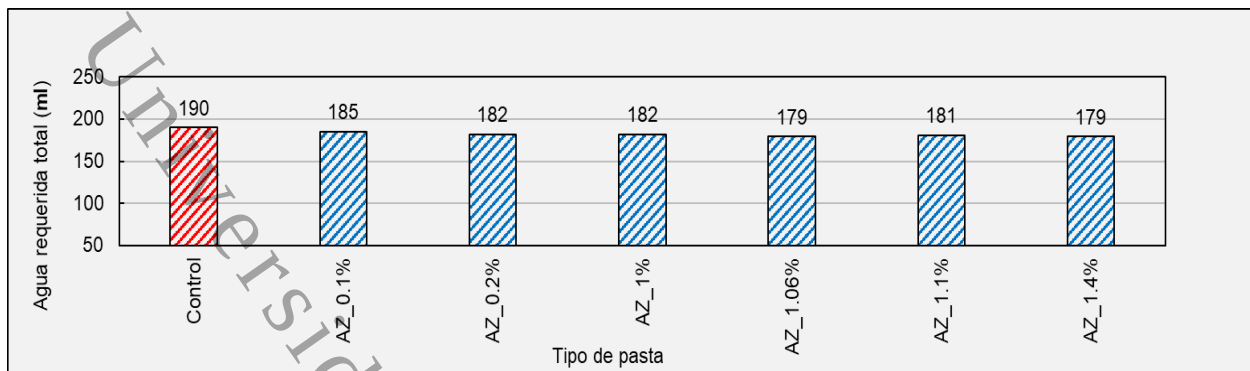


Figura 8. 1 Variación de la cantidad de agua en las pastas por efecto del azúcar

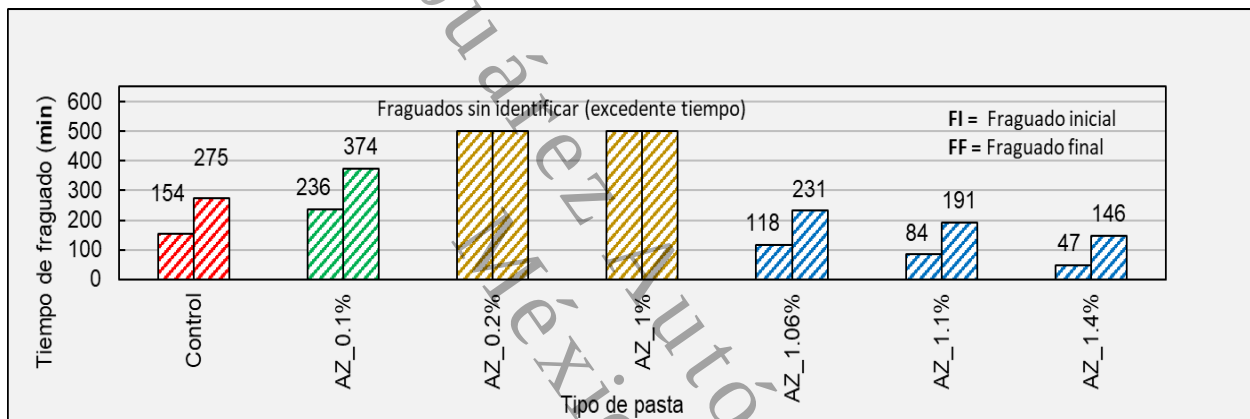


Figura 8. 2 Tiempo de fraguado inicial y final de las pastas de cemento

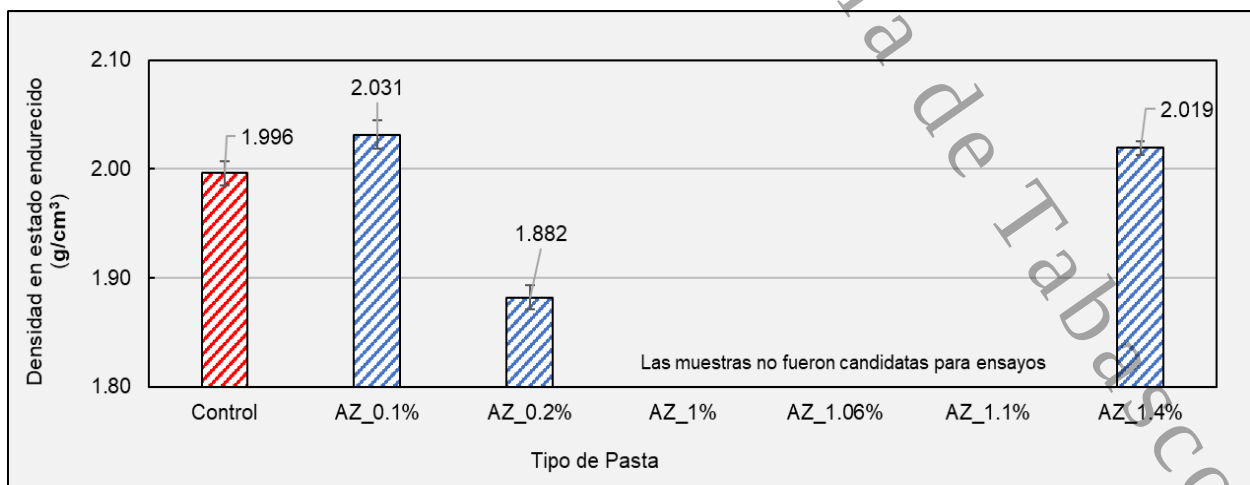


Figura 8. 3 Densidad en estado endurecido de las muestras de cemento

Se observa que las pastas con contenidos de azúcar de 0.1% y 1.4% mostraron densidades similares a la muestra de control (diferencias menores a 1.75%). Lo anterior indica que para estos contenidos de azúcar la densidad no se ve afectada. Para el resto de los porcentajes de azúcar se observó una disminución importante de la densidad, incluso para las muestras con porcentajes de azúcar de 1.0% hasta 1.1% se observó un daño severo durante el proceso de curado (véase Figura 4.4). Este último comportamiento se debió a que como se mostró anteriormente, para este rango de porcentajes el fraguado requirió mucho tiempo y al ser sometido a curado, el exceso de humedad afectó la integridad de las muestras.



Figura 8. 4 Daño en las muestras de cemento durante el curado

En la Figura 4.5 se muestran los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión simple. Analizando a las muestras que se localizan en la zona en la que la azúcar tiene un efecto de retardante se observó que, aunque poseen mayor densidad, su resistencia disminuye. Esto se debe a que la azúcar interviene en el desarrollo de las reacciones químicas que se tienen lugar durante el fraguado, volviendo a las muestras más frágiles.

Para las muestras AZ_1%, AZ_1.06% y AZ_1.1% no se registró ninguna resistencia debido a los daños que estas muestras mostraron durante la fase de curado. Para las muestras en las que la azúcar funcionó como acelerante se registró la resistencia más alta. Concretamente se registró un aumento del 11.5% con respecto a la muestra de control. Lo anterior indica que para estos porcentajes de azúcar las reacciones químicas en el interior de las muestras son suficiente para alcanzar un fraguado de calidad. Para porcentajes superiores a 1.4% no fue posible determinar la resistencia, debido a que como se comentó anteriormente, por la rapidez del fraguado no fue posible colocarlas en sus respectivos moldes.

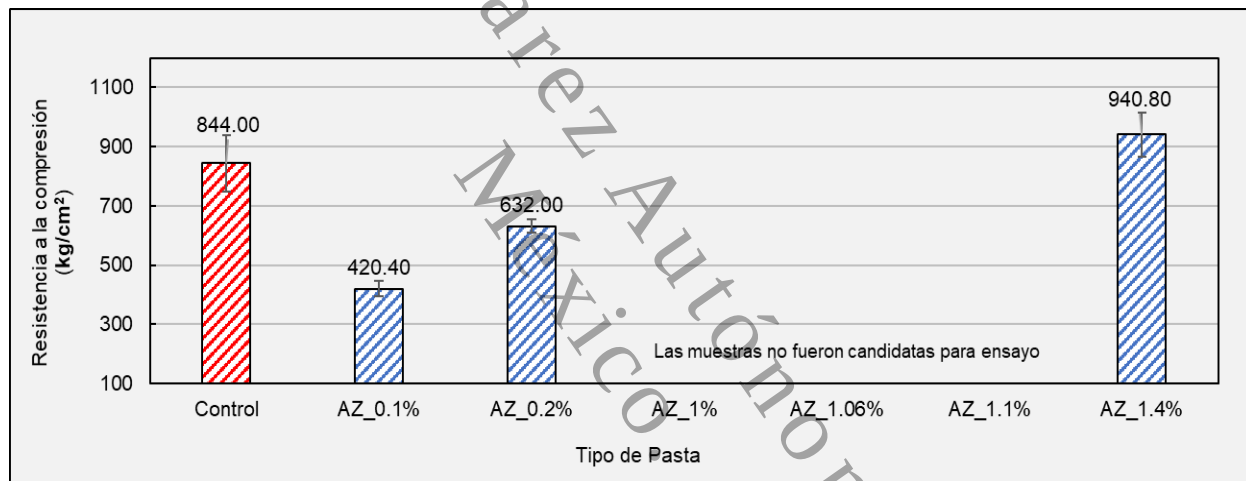


Figura 8. 5 Resistencia a la compresión simple de las muestras de cemento

8.2 Muestras de mortero

Durante la elaboración de las muestras de mortero se observaron los mismos comportamientos en cuanto al tiempo de fraguado que se observaron en las pastas de cemento.

Las figuras 4.6 y 4.7 muestran los resultados de los ensayos de densidad en estado endurecido y de resistencia a compresión simple en muestras de mortero. En ambas propiedades se observa una tendencia similar a la observada en las pastas de cemento, es decir, una disminución al aumentar el porcentaje de azúcar. A partir de 1.1% se registró un ligero aumento en estas propiedades para después volver a caer. Este comportamiento indica que el azúcar afecta negativamente a las propiedades mecánicas del mortero, ya que interfiere con las reacciones químicas que se generan durante el fraguado. De la zona de contenido de azúcar que funciona como retardante (0% hasta 0.2%), la mezcla que mostró mejor resistencia fue la de contenido 0.10%, mientras que para los contenidos de azúcar en la que se observa un comportamiento de acelerante (> 1.06%) la mezcla con mejor resistencia fue aquella con contenido de 1.4%. Es importante resaltar que todas las muestras exhibieron resistencias menores que la muestra de control.

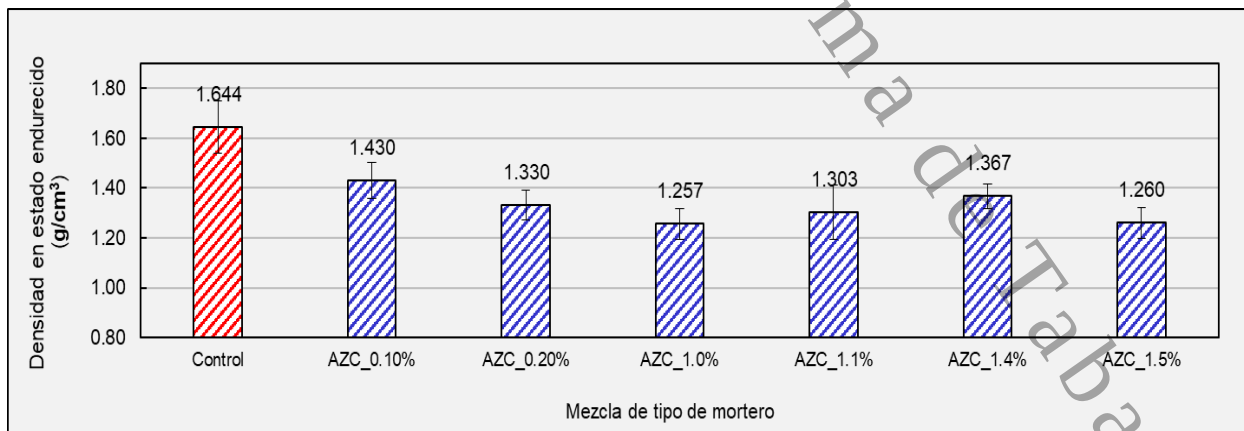


Figura 8. 6 Densidad en estado endurecido de las muestras de mortero

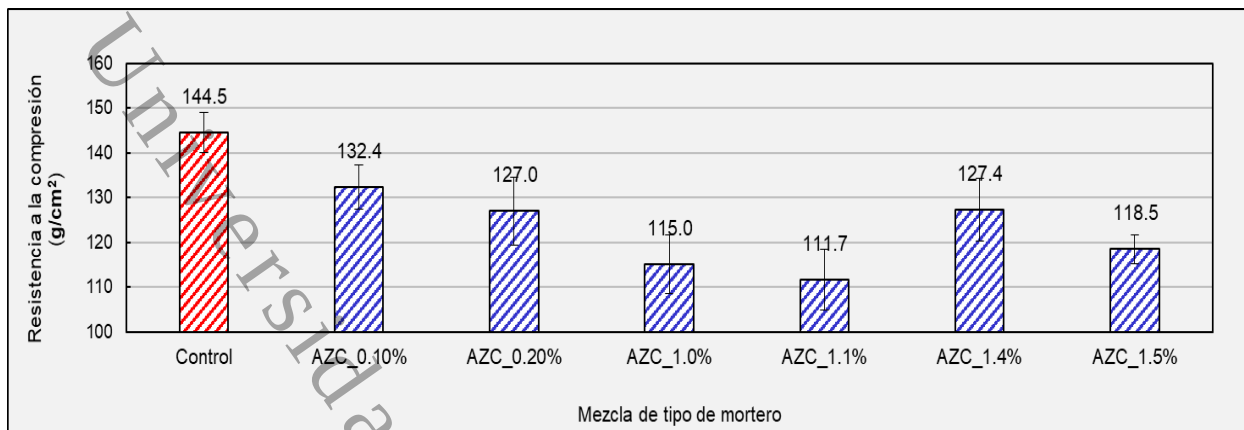


Figura 8. 7 Resistencia a la compresión simple de las muestras de mortero

8.3 Muestras de concreto

Al igual que para las muestras de mortero, durante la elaboración de las muestras de concreto se observaron los mismos comportamientos en cuanto al tiempo de fraguado que se observaron en las pastas de cemento.

Las figuras 4.8 y 4.9 muestran los resultados de los ensayos de densidad en estado endurecido y de resistencia a compresión simple en muestras de concreto. Nuevamente se observa una disminución de la densidad y la resistencia conforme se aumenta la cantidad de azúcar, sin embargo, se observó un ligero repunte para el contenido de 1.4%, con un posterior descenso. Los resultados ponen en evidencia que el azúcar repercute negativamente en las propiedades mecánicas de concreto.

De las muestras elaboradas con azúcar, la que se elaboró con 1.4% fue la que mostró la mejor densidad y resistencia. Esta muestra está situada en la zona en la que se observó un fraguado rápido y parece estar en las condiciones ideales que permiten fraguar correctamente. La evidencia sugiere que el fraguado rápido junto con el curado por inmersión

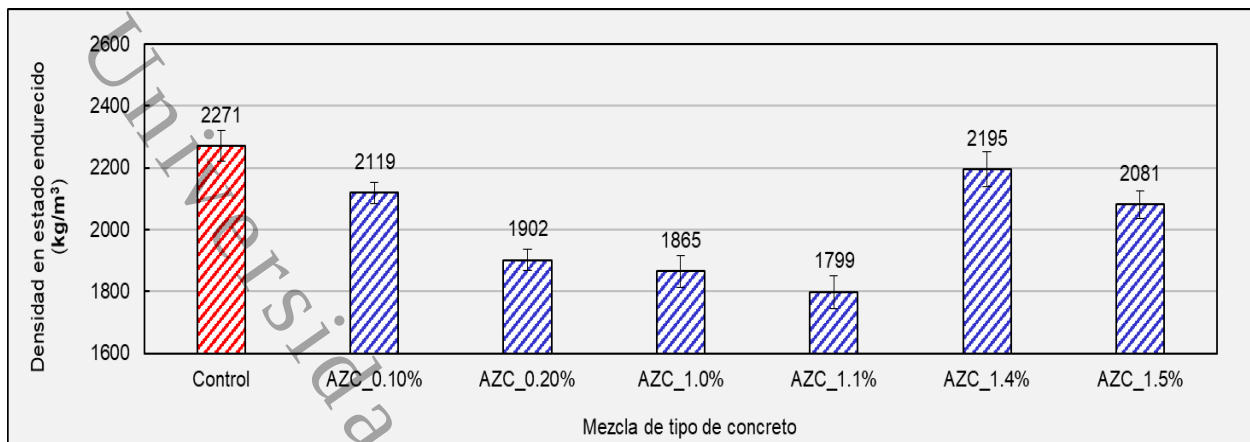


Figura 8. 8 Densidad en estado endurecido de las muestras de concreto

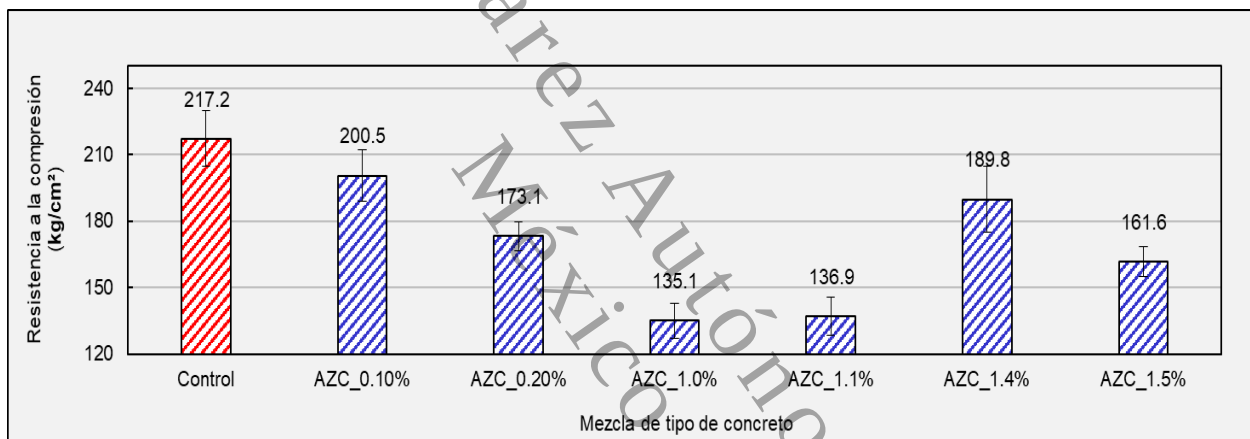


Figura 8. 9 Resistencia a la compresión simple de las muestras de concreto

9. DISCUSIONES

Según los hallazgos logrados en los resultados, es posible resaltar los impactos en sus propiedades. Por lo tanto, se puede afirmar principalmente que lo más sobresaliente fue el tiempo de fraguado. Este es un punto de comparación relevante con otras investigaciones que mencionan el comportamiento como un retardante, pero basándonos en nuestros datos, se concluye que funcionó como un acelerante y retardante.

Cuando el cemento y el agua interactúan en una mezcla (pasta), se descubrió que a cierto nivel de concentración se incrementa su resistencia de manera significativa en comparación con el control. Al realizar más pruebas donde se añadió arena o grava para la elaboración de mortero y concreto, de manera sorpresiva esta disminuye su resistencia.

10. CONCLUSIONES

Uno de los primeros efectos que se observaron por el uso del azúcar fue su impacto en el tiempo de fraguado. Esto se debe a que el azúcar interviene en las reacciones químicas que se desarrollan durante el fraguado, en particular el efecto directo sobre los compuestos químicos del cemento como el silicato tricálcico (C3S) y el aluminato tricálcico (C3A). El azúcar reacciona con los iones de calcio (Ca^{2+}) liberados durante el proceso de hidratación del cemento, formando complejos de calcio solubles. Esto reduce la disponibilidad de calcio para formar los productos de hidratación responsables del fraguado y endurecimiento, como el gel de silicato de calcio hidratado (C-S-H) y el hidróxido de calcio (Ca(OH)_2).

Dependiendo de la concentración de la azúcar se observaron dos comportamientos: retardante ($< 0.2\%$) y acelerante ($> 1.06\%$). Sin embargo, debido a que la azúcar tuvo gran influencia en la formación de los productos de hidratación se observó que en todas las muestras de mortero y concreto se generaron defectos estructurales importantes, ocasionando que la densidad y resistencia a la compresión fuesen en todos los casos menores a la resistencia y densidad de control.

Si bien se observaron efectos de retardante y acelerante en el uso del azúcar en las mezclas, los daños estructurales que se ocasionan por el impacto de la azúcar en la formación de productos de hidratación permiten concluir que su uso en la práctica profesional no es viable. Como futuras líneas de investigación se propone:

- Analizar la durabilidad de las muestras que mostraron más estabilidad estructural tanto para las mezclas en las que la azúcar funcionó como retardante (0.1%) así como para las mezclas en las que funcionó como acelerante (1.4%);
- Combinar a la azúcar con un agente natural estabilizante, que contribuya a disminuir los efectos negativos de la azúcar sobre la formación de compuestos de hidratación.

11. REFERENCIAS

- Adeleke, P. (2023). La industria mundial del cemento y el hormigón anuncia un calendario de mejoras para lograr unas revolucionarias emisiones de CO₂ “netas” para 2050. BusinessWire. <https://www.businesswire.com/news/home/20211012006051/es/>
- Aguilar Rivera, N. (2010). La Caña de Azúcar y sus Derivados en la Huasteca San Luís Potosí México. Diálogos Revista Electrónica, 11(1), 83. <https://doi.org/10.15517/dre.v11i1.6110>
- Alarcon Alarcon, J. H., Flores Paitan, E., Requis Carbajal, L. V., Clemente Condori, L. J., & Choque Flores, L. (2023). Resistencia del concreto estructural con la incorporación de fibras de vidrio y aditivo Sikacem PE. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 7(3), 6673–6689. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6659
- Alvaro López Ruíz. (1965). Nuevas aportaciones sobre el efecto de la adicción de pequeñas cantidades de sacarosa al agua de amasado de hormigones de cemento Portland. I, 931–940.
- Angel Efraín Brambilia. (2021). EFECTOS DE LA COSECHA EN VERDE PARA CAÑA DE AZÚCAR EN EL. https://www.researchgate.net/publication/356379017_EFECTOS_DE_LA_COSECHA_EN_VERDE_PARA_CANA_DE_AZUCAR_EN_EL
- ASTM C109-21. (2021). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). ASTM International.
- ASTM C191-08. (2008). Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle. ASTM International.
- ASTM C642-21. (2021). Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. ASTM International.
- ASTM C1437-20. (2020). Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar. ASTM International.

- Br. Medina Sevillano, C. A. (2021). "Uso del Aloe vera y Opuntia ficus para mejorar las propiedades físicomecánicas del concreto de 245 kg/cm², Huaraz 2021." Universidad César Vallejo.
- Carlos Enrique Bustillos Matias, Joanna Luisa Cajahuanca Aquino, & Alexandra Pereira Palacios. (n.d.). Easy placement of concrete on roofing in warm weather using sugar as retardant additive. Universidad Continental.
- Cartuxo, F., de Brito, J., Evangelista, L., Jiménez, J., & Ledesma, E. (2016). Increased Durability of Concrete Made with Fine Recycled Concrete Aggregates Using Superplasticizers. *Materials*, 9(2), 98. <https://doi.org/10.3390/ma9020098>
- Cementos Moctezuma, "CPC 30R/ Cemento Portland Compuesto." . (n.d.).
- Cemex S.A.B de C.V. (2024). Los Aditivos y su Clasificación. https://www.cemexmexico.com/comunicados/comunicados-full-view/-/asset_publisher/dsl7rkVsUZp8/content/los-aditivos-y-su-clasificaci-1
- Cemix México SA de CV. (n.d.). Características del cemento y sus principales aplicaciones en la construcción. Retrieved September 21, 2024, from <https://www.cemix.com/caracteristicas-cemento-aplicaciones/>
- Costa, V. A. de S., Braz, V. H. V., Correia, F. de A. B., & Monteiro, E. C. B. (2022). Estudo comparativo de traços de concreto de alta resistência com diferentes tipos de cimentos e aditivos polifuncionais. *Research, Society and Development*, 11(10), e68111032375. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i10.32375>
- Estela Santiago Patricio. (2011). Diferentes tipos de aditivos para el concreto. [Universidad Veracruzana.]. https://www.academia.edu/download/53659147/SantiagoPatricio__aditivos.pdf
- Fernando Carlos Gómez-Merino. (2014). El Campus Córdoba impulsa programa de mejoramiento de caña de azúcar. *Agro Entorno*. <https://www.researchgate.net/publication/273442011>
- Fernando Carlos Gómez-Merino. (2021). Agregación de valor y diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar en México: Opciones y Desafíos. Asociación

- DeTécnicos Azucareros de México., 34(2).
https://www.researchgate.net/publication/354845639_Agregacion_de_valor_y_diversificacion_de_la_agroindustria_de_la_cana_de_azucar_en_Mexico_Opciones_y_Desafios
- Fernando Carlos Gómez-Merino, Libia Iris Trejo-Téllez, Héctor Emmanuel Sentíes Herrera, Juan Antonio Perez Sato, & Juan Salazar-Ortiz. (2015). La caña de azúcar ofrece más que azúcar: oportunidades de diversificación.
https://www.researchgate.net/publication/283043940_La_cana_de_azucar_ofrece_mas_que_azucar_oportunidades_de_diversificacion
- Fraguado del concreto, secado y curado. (2022, October 2). Cemento INKA.
<https://www.cementosinka.com.pe/blog/fraguado-secado-y-curado-del-concreto/>
- Garcia, A. L. C., Cardoso, R. A. M., Silva Júnior, R. da, & Pappalardo Jr, A. (2023). A VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA FABRICAÇÃO DE CONCRETO USINADO. Revista Mackenzie de Engenharia e Computação, 23(1). <https://doi.org/10.5935/RMEC.v23n1p100-127>
- García-Culqui, R., Jácome-Pilco, C., Guevara-Narváez, Lady, & Moreta-Guangasi, T. (2023). Revalorización del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como residuo importante para la agroindustria. 593 Digital Publisher CEIT, 8(3), 134–148.
<https://doi.org/10.33386/593dp.2023.3.1661>
- Gaspar-Tébar, D. (1980). Normalización del cemento. Tiempo de fraguado: algunos comentarios sobre el método de ensayo. Materiales de Construcción, 30(178), 39–57. <https://doi.org/10.3989/mc.1980.v30.i178.1078>
- Gutiérrez de López, L. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción (Universidad Nacional de Colombia., Ed.).
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9302>
- Hernández, E. (2019). Uso de aditivos naturales en materiales de construcción – una revisión. Revista Arquitectura +, 3(6), 63–68.
<https://doi.org/10.5377/arquitectura.v3i6.9213>

- Hernández-Pérez, J. M., Landeros-Sánchez, C., Martínez-Dávila, J. P., López-Romero, G., Platas-Rosado, D. E., & Nikolskii-Gavrilov, I. (2017). Valoración de la evapotranspiración real estimada y rendimiento de caña de azúcar en Veracruz, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), 1013–1019. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.104>
- Jagadesh, P., Ramachandramurthy, A., & Murugesan, R. (2018). Evaluation of mechanical properties of Sugar Cane Bagasse Ash concrete. *Construction and Building Materials*, 176, 608–617. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.037>
- Jaramillo, H., Gallardo Amaya, R. J., & Martínez Ovallos, C. A. (2022). Variación de la consistencia del concreto mediante la adición de melaza de caña. 1–11. <https://doi.org/10.26507/paper.2455>
- José de Souza Silva, E., Costa Calazans, C., & Silva-Mann, R. (2023). PROSPECTIVA BIOTECNOLÓGICA DE AVANCES CIENTÍFICOS: REGISTRO, PROTECCIÓN E INNOVACIÓN DE CULTIVARES DE CAÑA DE AZÚCAR. *RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar* - ISSN 2675-6218, 4(9), e494038. <https://doi.org/10.47820/recima21.v4i9.4038>
- José Luis García Rivero. (n.d.). Manual Técnico de Construcción HOLCIM APASCO (Fernando Porrúa, Ed.). Cementos Apasco, SA de CV.
- Julio César Alvarez Guillén. (2017). Azúcar como aditivo retardante y modificador de resistencia para mezclas de concreto. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería.
- Katare, V. D., & Madurwar, M. V. (2017). Experimental characterization of sugarcane biomass ash – A review. *Construction and Building Materials*, 152, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.142>
- Luis. C. R. (n.d.). Aditivos para concreto. Retrieved September 21, 2024, from https://www.ingenieria.unam.mx/luisr/licenciatura_ic/1444_pcee/1444_material/aditivospresen.pdf

- Maciel, L. D., Coelho, A. R., & Pereira, H. R. S. (2020). Estudo das propriedades do concreto convencional com aditivo ou adição de água para correção de consistência. *Materia* (Rio de Janeiro), 25(4). <https://doi.org/10.1590/s1517-707620200004.1211>
- María Elizabeth Arteaga García, & César Augusto Maldonado Cevallos. (2017). Recuperación de sacarosa en la cosecha mecánica en verde de caña de azúcar. *Revista ESPAMCIENCIA*. 8. 61-65. La sacarosa es el producto final del proceso agroindustrial de la caña de azúcar. *Espamciencia*. https://www.researchgate.net/publication/323322595_Recuperacion_de_sacarosa_en_la_cosecha_mecanica_en_verde_de_cana_de_azucar
- Matias, B., Enrique Cahahuanca Aquino, C., & luisa Pereira Palacios, J. (n.d.). Easy placement of concrete on roofing in warm weather using sugar as retardant additive autores.
- Maxwell Klein Degen, Eliza Cerato Confortin, & Fábio André Viecili. (2024). EVALUACIÓN DEL TIEMPO DE CIERRE DE GRIETAS EN CONCRETO CON EL USO DE ADITIVOS CRISTALIZANTES. *Anais Do 6º Congresso Brasileiro de Patologia Das Construções*, 1–12.
- Mullick, A. K. (1996). Use of lignin-based products in concrete. In *Waste Materials Used in Concrete Manufacturing* (pp. 352–429). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-081551393-3.50010-7>
- Olvera-Rincón, F., Salgado-Velázquez, S., Córdova Sánchez, S., Palma-López, D. J., López-Castañeda, A., & Castañeda-Ceja, R. (2024). Defoliación del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en la Chontalpa, Tabasco, México. *Agronomía Mesoamericana*, 53608. <https://doi.org/10.15517/am.2024.53608>
- Otunyo, A. W., & Koate, I. (2015). Sugar cane juice as a retarding admixture in concrete production. *Global Journal of Engineering Research*, 14(1), 17. <https://doi.org/10.4314/gjer.v14i1.3>
- Patishtan-Pérez, J., Martínez-Bautista, A., Victoriano, M. F., & Cervantes Preciado, J. F. (2023). Rasgos agroindustriales de variedades de caña de azúcar. *Ciencia Latina*

- Revista Científica Multidisciplinar, 7(5), 9817–9830.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i5.8545
- Reymundo Gamarra, R. H. (2024). Trabajabilidad del concreto con la adición de azúcar en la elaboración de mezcla. *Prospectiva Universitaria*, 19(1), 7–11.
<https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2022.19.1942>
- Rivetti, M. L. S., Araújo, A. G., & Lima, P. R. L. (2024). Influência da argamassa aderida ao agregado reciclado sobre as propriedades do concreto contendo resíduo de demolição. *CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES*, 17(1), 1432–1453.
<https://doi.org/10.55905/revconv.17n.1-080>
- Rocha Argote, F. (2024). Tiempo de Fraguado y Consistencia Normal del Cemento Portland IP-30 con Agregados de Esferas de Poliestireno. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(2), 7183–7194.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.11120
- Rodríguez Lacayo, D. A., Reyes, J. C., & Úcles, K. (2020). Predicción de la resistencia a compresión del concreto 1:2:3 a partir del tiempo de inicio fraguado. *Innovare: Revista de Ciencia y Tecnología*, 9(3), 131–138.
<https://doi.org/10.5377/innovare.v9i3.10646>
- Ruiz-Montiel, C., Illescas-Riquelme, C. P., Hernández, U. A., & Jones, R. W. (2015). Nuevos Registros de Picudos (Coleoptera: Curculionidae) Afectando Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en Veracruz, México. *Southwestern Entomologist*, 40(2), 427–432. <https://doi.org/10.3958/059.040.0216>
- Santos, C. C. dos, Dal Molin, D. C. C., & Isaia, G. C. (2023). Estudo do módulo de elasticidade do concreto com o uso de material alternativo. *Revista Tecnologia*, 44, 13. <https://doi.org/10.5020/23180730.2023.11778>
- Setayesh Gar, P., Suresh, N., & Bindiganavile, V. (2017). Sugar cane bagasse ash as a pozzolanic admixture in concrete for resistance to sustained elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 153, 929–936.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.107>

- Somna, R., Jaturapitakkul, C., Rattanachu, P., & Chalee, W. (2012). Effect of ground bagasse ash on mechanical and durability properties of recycled aggregate concrete. *Materials & Design* (1980-2015), 36, 597–603. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.11.065>
- Soto Gutiérrez Luis Felipe. (2019). Efecto del azúcar de caña en las propiedades físicas y mecánicas de las pastas y morteros elaborados con cemento Tequendama [UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA]. <http://hdl.handle.net/10654/32498>
- Sotolongo, R., Gayoso, R., & Gálvez, M. (1993). Contribución al estudio de la sacarosa como aditivo retardador de la hidratación del cemento. *Materiales de Construcción*, 43(230), 37–39. <https://doi.org/10.3989/mc.1993.v43.i230.682>
- Srinivasan, R., & Sathiya, K. (2010). Experimental study on bagasse ash in concrete. *International Journal for Service Learning in Engineering, Humanitarian Engineering and Social Entrepreneurship*, 5(2), 60–66. <https://doi.org/10.24908/ijlse.v5i2.2992>
- Statista Research Department. (2023, June). El sector de la construcción en México – Datos estadísticos.
- Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, & Jussara Tanesi. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto* (Portland Cement Association, Ed.; Primera edición).
- Thongtha, A., Maneewan, S., Punlek, C., & Ungkoon, Y. (2014). Investigation of the compressive strength, time lags and decrement factors of AAC-lightweight concrete containing sugar sediment waste. *Energy and Buildings*, 84, 516–525. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.08.026>
- Torres de Sande, V., Sadique, M., Pineda, P., Bras, A., Atherton, W., & Riley, M. (2021). Potential use of sugar cane bagasse ash as sand replacement for durable concrete. *Journal of Building Engineering*, 39, 102277. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102277>

- Valdez Balero, A. (2023). Nuevas variedades de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) liberadas en Tabasco, México. *Agro-Divulgación*, 3(3). <https://doi.org/10.54767/ad.v3i3.191>
- Vidaud, E. (2013). De la historia del cemento. . *Construcción y Tecnología En Concreto.*, 60, 20–23.
- YIRSON MONTOYA, ALBEIRO CADAVID, & MARYORY ASTRID GÓMEZ. (2013). COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y DE FRAGUADO DE MORTEROS DE CEMENTO PÓRTLAND GRIS TIPO III CON ADITIVOS (MECHANICAL AND SETTING BEHAVIOR OF MORTARS FROM GRAY PORTLAND CEMENT TYPE III WITH ADDITIVES). *Reveia*, 6(11), 39–49. <https://revistabme.eia.edu.co/index.php/reveia/article/view/403>
- Zulka Azúcar de caña origen natural “Azúcar Morena.” (2020). <https://zulka.com.mx/usa-zulka/>

12. ANEXO 7

Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional	
Título de Tesis:	El azúcar como aditivo natural en mezclas de mortero y concreto: Análisis mecánico.
Autor(a) o autores(ras) de la Tesis:	David Bernardo García de la Cruz Zaira Pérez Morales
ORCID:	0009-0004-3086-2725
Resumen de la Tesis:	El tiempo de fraguado es el tiempo que le toma a las mezclas a base de cemento endurecerse debido a la hidratación del cemento que activa sus componentes químicos. Ese tiempo se puede cambiar con la ayuda de aditivos comerciales, ya sean acelerantes o retardantes, según la necesidad que se requiera en obra. Sin embargo, el uso de los aditivos comerciales puede dañar el

	medio ambiente, así como también puede provocar afectaciones a la salud para quién esté en contacto con ellos. Por esta razón el uso de aditivos naturales está cobrando relevancia. Uno de estos aditivos es la azúcar de mesa, por lo que en esta investigación se tuvo por objetivo analizar su efecto (cambios en densidad, tiempo de fraguado y resistencia) en pastas de cemento, así como también en mezclas de mortero y concreto. Tomando como base la dosificación de las muestras de control (en pastas, mortero y concreto) se fabricaron nuevas muestras con diferentes porcentajes añadidos de azúcar. Para cada muestra se evaluaron las mismas propiedades que las muestras de control. Los resultados mostraron que añadir azúcar a todos los tipos de mezclas estudiados en un porcentaje menor de 1.0 % logra un efecto retardante del fraguado y para porcentajes mayores se obtienen efectos acelerantes. Para porcentajes mayores a 1.4 % el fraguado es muy rápido por lo que no permite fabricar muestras. En todos los casos al añadir azúcar se observó que resulta perjudicial
--	--

	para la integridad estructural de las muestras y para su resistencia.
Palabras claves de la Tesis:	Azúcar, Cemento, Concreto, Densidad, Mortero, Resistencia a la compresión simple, Tiempo de fraguado.
Referencias citadas:	