

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	08-07-2021	B
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		0(125)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Juan Diego Andrés Criado Gerardino Yesid Fabián Pacheco Urango		
FACULTAD	Ingenierías		
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Civil		
DIRECTOR	Haidde Yulady Jaramillo		
TÍTULO DE LA TESIS	Determinación de las propiedades físico-mecánicas en mezclas de concreto incorporando la melaza de caña de azúcar como material alternativo de los agentes retardantes y plastificantes en dosificaciones del 0 a 1%.		
TITULO EN INGLES	Determination of the physical-mechanical properties in concrete mixtures incorporating sugar cane molasses as an alternative material for retarding and plasticizing agents in dosages of 0 to 1%.		
RESUMEN			
<p>Este trabajo investiga la influencia de la incorporación de la melaza de caña de azúcar como aditivo alternativo a las mezclas de concreto en dosificaciones que van desde el 0% al 1%, que como se ha evidenciado en la literatura logra mejorar características como la trabajabilidad y ampliación del tiempo de fraguado. Además, constituye una alternativa sostenible, puesto que emplea un material orgánico de alta producción en la región del Catatumbo.</p>			
RESUMEN EN INGLES			
<p>This work investigates the influence of the incorporation of sugar cane molasses as an alternative additive to concrete mixtures in dosages ranging from 0% to 1%, which, as has been evidenced in the literature, improves characteristics such as workability and extension of the setting time. In addition, it constitutes a sustainable alternative, since it uses an organic material of high production in the Catatumbo region.</p>			
PALABRAS CLAVES	Concreto, Melaza, Aditivo, Trabajabilidad		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Concrete, Molasses, Additive, Workability		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 124	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 24	CD-ROM: 0



Determinación de las propiedades físico-mecánicas en mezclas de concreto incorporando la melaza de caña de azúcar como material alternativo de los agentes retardantes y plastificantes en dosificaciones del 0 a 1%.

Juan Diego Andrés Criado Gerardino

Yesid Fabián Pacheco Urango

Facultad de Ingeniería, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingeniería Civil

Ms.C Haidde Yulady Jaramillo

17 de Marzo de 2022

Índice

Capítulo 1. Determinación de las propiedades físico-mecánicas en mezclas de concreto incorporando la melaza de caña de azúcar como material alternativo de los agentes retardantes y plastificantes en dosificaciones del 0 a 1%	10
1.1 Planteamiento del problema	10
1.2 Formulación del problema.....	12
1.3 Objetivos.....	12
1.3.1 Objetivo general.	12
1.3.2 Objetivos Específicos:	12
1.4 Justificación	13
1.5 Delimitaciones	15
1.5.1 Delimitación operativa.	15
1.5.2 Delimitación Conceptual.	16
1.5.3 Delimitación Geográfica.....	16
1.5.4 Delimitación Temporal.....	17
Capítulo 2. Marco Referencial	18
2.1 Marco histórico.....	18
2.2 Marco contextual	21
2.2.1 Nivel internacional	23
2.2.2 Nivel Nacional.....	26

	3
2.2.3 Nivel Local	28
2.3 Marco conceptual	29
2.4 Marco teórico.....	38
2.4.1 Teoría del cemento	39
2.4.2 Propiedades del concreto	44
2.4.3 Uso de aditivos en el concreto.....	56
2.5 Marco legal	59
Capítulo 3. Diseño Metodológico	63
3.1 Tipo de investigación.....	63
3.2 Población y muestra.....	64
3.2.1 Población.	64
3.2.2 Muestra.	64
3.3 Diseño de instrumentos de recolección de la información y técnicas de análisis de datos	64
3.4 Análisis de la información	65
Capítulo 4. Resultados	70
4.1. Realizar la caracterización de las materias primas de la mezcla de concreto, como el cemento, los agregados finos y gruesos y la melaza	70
4.1.1. Cemento.....	70
4.1.2. Agregados.....	71

4.1.3. Melaza	79
4.2. Determinar la variación del comportamiento físico y mecánico en laboratorio de mezclas de concreto con melaza adicionada en dosificaciones del 0% al 1%.....	80
4.2.1. Diseño de mezclas	81
4.2.2. Propiedades Físicas.....	82
4.2.3. Propiedades Mecánicas.....	89
4.3. Analizar la variación del comportamiento del concreto modificado empleando un microscopio electrónico de barrido o SEM.....	100
4.4. Realizar un análisis comparativo de los costos necesarios para la fabricación de un concreto convencional respecto al concreto con la incorporación de melaza.....	105
Conclusiones.....	108
Referencias.....	111
Apéndices.....	118

Lista de Figuras

Figura 1 Acción dispersante de los agentes reductores de agua.	47
Figura 2 Relación entre la resistencia a la compresión y la relación agua-cemento.....	50
Figura 3 Relación entre porosidad y la relación a / c.....	50
Figura 4 Efecto del tamaño máximo del agregado sobre la resistencia a la compresión.....	51
Figura 5 Relación entre la resistencia relativa a la compresión y los materiales cementantes suplementarios.	53
Figura 6 Ensayo para determinar la masa unitaria de la grava	71
Figura 7 Ensayos para determinar la masa unitaria de la Arena.....	74
Figura 8 Ensayo de Granulometría a los agregados.....	76
Figura 9 Curva granulométrica del agregado grueso	78
Figura 10 Curva granulométrica del agregado fino	78
Figura 11 Melaza empleada en el proyecto	79
Figura 12 Compactación con varilla de la muestra.....	85
Figura 13 Retiro del cono y medición del asentamiento.....	86
Figura 14 Resultados de asentamiento cono Naranja	88
Figura 15 Resultados de asentamiento cono Gris	88
Figura 16 Elaboración de cilindros de concreto	90
Figura 17 Aplicación de carga uniaxial de compresión.....	90
Figura 18 Valores de resistencia de promedio de las diferentes mezclas	98
Figura 19 Gráficos de tendencia de los valores de resistencia promedio de las diferentes mezclas	99
Figura 20 Porción de la muestra para ensayo	101

Figura 21 Muestra ionizada para la captura de información.....	101
Figura 22 Captura de información con imágenes a diferentes ampliaciones	102
Figura 23 Imágenes de la muestra de concreto con melaza al 0.2%.....	103
Figura 24 Microfisuras presentes en la matriz cementante.....	104

Lista de tablas

Tabla 1 Los principales componentes químicos del cemento Portland	40
Tabla 2 Los principales componentes químicos del cemento Portland	70
Tabla 3 Masa unitaria suelta agregado grueso	72
Tabla 4 Masa unitaria compacta agregado grueso	72
Tabla 5 Peso Específico agregado grueso.....	73
Tabla 6 Masa unitaria suelta agregado fino	74
Tabla 7 Masa unitaria compacta agregado fino	75
Tabla 8 Peso Específico agregado fino.....	75
Tabla 9 Granulometría agregado grueso.....	77
Tabla 10 Granulometría agregado fino	77
Tabla 11 Componentes y propiedades de la melaza	80
Tabla 12 Resultados del diseño por método ACI	81
Tabla 13 Resultados del diseño por método gráfico.....	82
Tabla 14 Información del ensayo de asentamiento.....	87
Tabla 15 Resultados de la prueba de asentamiento	87
Tabla 16 Ensayo de compresión probetas sin melaza – 7 días	91
Tabla 17 Ensayo de compresión probetas melaza 0,2% – 7 días.....	91
Tabla 18 Ensayo de compresión probetas melaza 0,4% – 7 días.....	91
Tabla 19 Ensayo de compresión probetas melaza 0,6% – 7 días.....	91
Tabla 20 Ensayo de compresión probetas melaza 0,8% – 7 días.....	92
Tabla 21 Ensayo de compresión probetas melaza 1% – 7 días.....	92
Tabla 22 Ensayo de compresión probetas con aditivo – 7 días	92

Tabla 23 Ensayo de compresión probetas sin melaza – 14 días	93
Tabla 24 Ensayo de compresión probetas melaza 0,2% – 14 días.....	93
Tabla 25 Ensayo de compresión probetas melaza 0,4% – 14 días.....	93
Tabla 26 Ensayo de compresión probetas melaza 0,6% – 14 días.....	94
Tabla 27 Ensayo de compresión probetas melaza 0,8% – 14 días.....	94
Tabla 28 Ensayo de compresión probetas melaza 1% – 14 días.....	94
Tabla 29 Ensayo de compresión probetas con aditivo – 14 días	95
Tabla 30 Ensayo de compresión probetas sin melaza – 28 días	95
Tabla 31 Ensayo de compresión probetas melaza 0,2% – 28 días.....	95
Tabla 32 Ensayo de compresión probetas melaza 0,4% – 28 días.....	96
Tabla 33 Ensayo de compresión probetas melaza 0,6% – 28 días.....	96
Tabla 34 Ensayo de compresión probetas melaza 0,8% – 28 días.....	96
Tabla 35 Ensayo de compresión probetas melaza 1% – 28 días.....	96
Tabla 36 Ensayo de compresión probetas con aditivo – 28 días	97
Tabla 37 Promedios de resistencia del concreto	97
Tabla 38 Análisis de precio unitario de un concreto convencional de 3000 psi.....	106
Tabla 39 Análisis de precio unitario de un concreto convencional de 3000 con Melaza.....	106
Tabla 40 Comparación de costos para un concreto convencional de 3000 psi.....	107

Introducción

En la actualidad los proyectos de construcción demandan cada vez más el desarrollo de materiales con propiedades físicas, mecánicas y químicas particulares, que correspondan a las necesidades particulares del proyecto, adicionalmente la ingeniería y el sector de la construcción en general desarrolla continuamente nuevos materiales, cuyas propiedades logran satisfacer las necesidades específicas de las obras.

En particular el concreto es uno de los materiales de construcción de mayor demanda debido a sus propiedades y versatilidad, adicionalmente es común que se empleen productos para potenciar algunas de sus propiedades, los cuales permiten modificar el comportamiento y la estructura del concreto, potenciando o reduciendo ciertas características que constituyen un beneficio para las obras. No obstante, el uso de aditivos suele ser una alternativa costosa por lo cual el uso comercial de estos es reducido.

Es por ello por lo que se han desarrollado diferentes investigaciones que buscan soluciones alternativas al uso de aditivos a partir de materiales poco convencionales y de menor costo, como lo es la melaza que para esta investigación se analizó su incorporación en dosificaciones que van desde el 0% al 1%, que como se ha evidenciado en la literatura logra mejorar características como la trabajabilidad y ampliación del tiempo de fraguado. Además, constituye una alternativa sostenible, puesto que emplea un material orgánico como lo es la caña de azúcar, la cual hace parte de la producción agrícola de la región.

Capítulo 1. Determinación de las propiedades físico-mecánicas en mezclas de concreto incorporando la melaza de caña de azúcar como material alternativo de los agentes retardantes y plastificantes en dosificaciones del 0 a 1%.

1.1 Planteamiento del problema

El sector de la construcción se desarrolla y evoluciona a un ritmo acelerado, en función de las necesidades y limitaciones que plantea el entorno, esta situación propone diferentes retos para la creación de nuevos materiales, cuyas características tanto físicas, químicas y mecánicas deben satisfacer las necesidades específicas de las obras. Este panorama sustenta el campo de acción de la ingeniería aplicada, que en conjunto con los avances tecnológicos dan vida a nuevos sistemas constructivos y mejoran o crean nuevos materiales.

La producción de estos materiales genera un considerable impacto ambiental, solo el cemento produce una emisión de cerca de 0,82 tonelada de dióxido de carbono (CO₂) por cada tonelada de cemento, y constituye entre el 5% y el 8% del total de las emisiones resultantes de actividades humanas (León y Guillen, 2020). Esta situación, constituye una gran preocupación ambiental debido al alto consumo energético y la creciente demanda por recursos, siendo necesario la implementación de estrategias que reduzcan considerablemente la generación de residuos y la optimización de los recursos (Silgado et al. 2018)

Adicionalmente, la ejecución de diferentes proyectos y estructuras cuyas características son diversas y variadas dan origen a una serie de problemas que se deben resolver aplicando técnicas constructivas o materiales específicos que en ocasiones no se encuentran disponibles en

el lugar de la obra, el concreto es un ejemplo de ello, pues muchas veces este debe ser transportado desde una planta, ya que no puede ser fabricado directamente en obra y siempre se debe garantizar la trabajabilidad del concreto (Torres y Niño, 2020). Así mismo otro requerimiento común en las obras es la necesidad de reducir el porcentaje de relación agua/cemento con el fin de aumentar la resistencia del concreto sin afectar la fluidez de la mezcla (Mansor et al., 2018).

Los problemas mencionados han permitido la invención de diferentes tipos de aditivos, los cuales permiten modificar el comportamiento y la estructura del concreto, potenciando o reduciendo ciertas características que constituyen un beneficio para las obras. No obstante, la aplicación de aditivos al concreto suele ser una alternativa costosa por lo cual el uso comercial de estos es reducido (Liu et al., 2019).

En este sentido, este proyecto investiga la influencia de la incorporación de la melaza de caña de azúcar como aditivo alternativo a las mezclas de concreto en dosificaciones que van desde el 0% al 1%, que como se ha evidenciado en la literatura logra mejorar características como la trabajabilidad y ampliación del tiempo de fraguado. Además, constituye una alternativa sostenible, puesto que emplea un material orgánico como lo es la caña de azúcar, la cual hace parte de la producción agrícola de la región del Catatumbo.

1.2 Formulación del problema

¿Qué variaciones físicas y mecánicas produce en el concreto la incorporación de diferentes dosificaciones de melaza de caña de azúcar entre el 0% y el 1% con respecto al peso del cemento?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general.

Determinar las propiedades físico-mecánicas en mezclas de concreto incorporando la melaza de caña de azúcar como material alternativo de los agentes retardantes y plastificantes en dosificaciones del 0% al 1%

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Realizar la caracterización de las materias primas de la mezcla de concreto, como el cemento, los agregados finos y gruesos y la melaza.
- Determinar la variación del comportamiento físico y mecánico en laboratorio de mezclas de concreto con melaza adicionada en dosificaciones del 0% al 1%.
- Analizar la variación del comportamiento del concreto modificado empleando un microscopio electrónico de barrido o SEM

- Realizar un análisis comparativo de los costos necesarios para la fabricación de un concreto convencional con aditivo respecto al concreto con la incorporación de melaza.

1.4 Justificación

Los proyectos de construcción demandan cada vez más el desarrollo de materiales con propiedades físicas, mecánicas y químicas particulares, que satisfagan las necesidades específicas de las obras que plantean nuevos desafíos para la ingeniería aplicada, en este sentido se asume un nuevo reto con respecto al componente ambiental, desarrollando construcciones ecológicas y analizando el impacto que los materiales tienen sobre el medio ambiente.

El uso de aditivos es uno de los ejemplos más claros del tipo de materiales que se emplean en la actualidad para modificar materiales ya existentes, potenciando sus características de acuerdo a las necesidades específicas de las obras (Al Menhosh et al., 2018), en el caso del uso de aditivos en el concreto este logra retardar el fraguado, y suele usarse en planta cuando se elabora la mezcla o durante su transporte cuando se presentan atascos, accidentes o cualquier inconveniente que impida que la mezcla de concreto llegue a la obra a la hora estimada, e incluso en la misma obra, cuando la mezcla llega a tiempo pero por diversas razones es necesario esperar un tiempo para su aplicación (Torres y Niño, 2020).

El uso del azúcar o sus derivados se han empleado en la construcción como aditivo retardante del fraguado, debido a que los retardantes comerciales representan un costo más elevado y en ocasiones es limitada la disponibilidad en el mercado (Soto, 2019). El azúcar se ha

usado de una forma empírica: donde los resultados del retraso del tiempo del fraguado son los esperados, pero sin saber si se pone en juego la resistencia y durabilidad del concreto (Álvarez, 2017).

El azúcar de caña ofrece una alternativa confiable para retardar el tiempo de fraguado del concreto antes de llegar al sitio de colocación, es un producto de uso común, de fácil adquisición y su accesibilidad es mayor en comparación con otros aditivos de uso comercial (Ali y Qureshi, 2019). Así mismo, los precios del azúcar o subproductos de este tipo son menores en comparación con otros productos comerciales, presentando precios elevados que aumentan los costos de la obra en comparación de si se emplea el azúcar, solo basta con tener clara la dosis a emplear de acuerdo con la cantidad de cemento y el tiempo que se requiere en la obra (Shrutu, 2016).

Son diversos los autores que han mencionan las bondades del uso de productos derivados del azúcar, documentando que la resistencia y durabilidad del concreto o morteros pueden mejorarse reduciendo la demanda de agua utilizando plastificantes. Barbudo et al. (2013). Hay que mencionar, que además el uso de melaza como superplastificante ha permitido una disminución en la demanda de agua adiciona en la mezcla para mantener la trabajabilidad, por lo tanto, se reduce la relación agua-cemento efectiva y se mejoran las propiedades del concreto. Por otro lado, Cartuxo et al. (2016) y Jumadurdiyve et al. (2005) demostraron que los tiempos de fraguado de las pastas de cemento aumentaron con el aumento del contenido de melaza.

Vemos entonces, como lo plantea Akar y Canbaz (2016) que el uso de la melaza en el concreto logra una mejora en la resistencia a la compresión en todas las edades, excepto en

edades tempranas. También se ha documentado un retraso en los tiempos de fraguado de las pastas de cemento y una mejora en la resistencia a la compresión y a la tracción a los 28 días del concreto con la inclusión de 0,5% de melaza. El aumento de la resistencia se atribuye normalmente a la microestructura más densa del concreto y la acción retardadora se atribuye a la adsorción de melaza en las superficies de partículas hidratantes o productos de cemento (Weifeng, 2014).

Es 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. No obstante, en Colombia son pocos los estudios que específicamente analizan la interacción de la melaza proveniente de la caña de azúcar y su interacción en mezclas de concreto. Es por ello que se hace necesario realizar esta investigación, para establecer la correlación existente entre la melaza y las propiedades del concreto. Así mismo, de ser viable esta alternativa, representaría una gran ventaja económica para el sector de la construcción, pues se reducirían los costos de fabricación del concreto con aditivos. Y a nivel ambiental también se lograría un avance pues se estaría empleando un material alternativo, sostenible y que en Colombia es de uso común.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Delimitación operativa.

A nivel operativo este proyecto se rige a partir de las normas NTC 174, NTC 77, NTC 92, NTC 98, NTC 121, NTC 385, NTC 890, y las demás normas relacionadas al concreto y sus

agregados. Para el proceso de obtención de la Melaza de caña de azúcar, se empleará aquella de uso comercial que se distribuye en depósitos agrícolas en la ciudad de Ocaña.

La recolección de información se realizará a partir de fuentes primarias, llevando a cabo ensayos de laboratorio y mediciones directa sobre las probetas y mezclas de concreto desarrolladas, las cuales se plantean con una incorporación de melaza en dosificaciones que van desde el 0% al 1%, y se medirá la influencia que esta adición tiene sobre el comportamiento del concreto, tanto en la fluidez, tiempo de fraguado y resistencia en diferentes periodos de curado.

1.5.2 Delimitación Conceptual.

La fundamentación conceptual necesaria para el desarrollo de este estudio se centra en el análisis de conceptos relacionados a las mezclas de concreto y el comportamiento físico y mecánico de este material de construcción, que pueden describirse a partir de los siguientes términos: Trabajabilidad, Fluidez, Relación Agua/cemento, Fraguado, Resistencia, aditivos, plastificante, retardante.

1.5.3 Delimitación Geográfica.

El estudio se desarrollará en la ciudad de Ocaña, Norte de Santander, y se emplearan los recursos físicos y de infraestructura de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, la cual dispone con laboratorios y equipos necesarios para el desarrollo de ensayos y pruebas de laboratorio necesarias para el desarrollo de los objetivos propuestos.

1.5.4 Delimitación Temporal.

Este proyecto tendrá lugar a desarrollo en un periodo aproximado de 4 meses de trabajo colaborativo con docentes investigadores y con fuente primarias del municipio.

Capítulo 2. Marco Referencial

2.1 Marco histórico

La industria de la construcción es una de las industrias de más rápido crecimiento en todo el mundo. En esta industria, el concreto juega un papel inherente y es el material de construcción artificial más utilizado. El concreto seguirá siendo el material de construcción líder en todo el mundo debido a sus propiedades versátiles y ventajosas, como buena resistencia a la compresión, alta capacidad de moldeado, plástico y maleable en estado fresco, además de ser duradero, impermeable y resistente al fuego cuando está endurecido (Rodríguez y Fernández, 2010).

El concreto tiene aplicaciones avanzadas, técnicas de diseño y construcción, como la construcción de viviendas, puentes, presas, pavimentos, estadios, estructuras de contención, aeropuertos y rascacielos. Sin embargo, el concreto tiene algunas propiedades indeseables como ser débil en tensión, fragilidad, menor resistencia al agrietamiento, baja resistencia al impacto y un gran peso específico, por lo que en ocasiones es necesario mejorar las propiedades de este (García Díaz, 2019).

El cemento Portland es el material aglutinante convencional en el concreto y es el ingrediente más caro. La fabricación de cemento es un proceso de alto consumo energético, que implica un consumo intensivo de combustible para la fabricación de clínker y produce la emisión de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂) en grandes cantidades y otros trazadores como el metano (CH₄), las principales causas del calentamiento global. En realidad, el proceso de producción de cemento produce alrededor de una tonelada de CO₂ por cada tonelada

de cemento producida y, por lo tanto, es responsable de alrededor del 5% al 8% de las emisiones globales de CO₂ (Castaldelli, et al., 2013). Este problema ambiental probablemente aumentará debido a la demanda exponencial de cemento Portland. Para 2050, se espera que la demanda aumente en un 200% desde los niveles de 2010, alcanzando los 6000 millones de toneladas / año (Restrepo, et al., 2014).

En este contexto, durante la Cumbre de Copenhague celebrada en 2009, diferentes países coincidieron en la necesidad de reducir las emisiones de CO₂ para 2020. Estados Unidos, por ejemplo, hizo un pacto para reducir sus emisiones totales en aproximadamente un 17% a partir de 2010 con respecto a los niveles de 2005 (Castaldelli, et al., 2013). Por lo tanto, varias actividades de investigación se han dirigido a la sustitución parcial o total del cemento Portland por diversos materiales, incluidos los subproductos agrícolas, industriales y agroindustriales en la producción de concreto, sin comprometer la calidad del mismo (Azhagarsamy & Jaiganesan, 2016). La utilización de dichos materiales no solo conserva el medio ambiente, sino que también reduce el costo de construcción y minimiza la emisión de desechos.

Ahora bien, desde hace mucho tiempo se reconoce que los aditivos son componentes importantes del concreto que se utilizan para mejorar su rendimiento. El uso original de aditivos en mezclas cementosas no está bien documentado. Se cree que la introducción de algunos de estos materiales puede haber sido parte de rituales u otras ceremonias. Se sabe que el cemento mezclado con materia orgánica se aplicó como una capa superficial con fines de resistencia al agua o tintes. Los materiales utilizados en el concreto y la mampostería tempranos incluían leche y manteca de cerdo por los romanos; huevos durante la edad media en Europa; pasta de arroz

glutinoso pulido, laca, aceite de tung, melaza y extractos de olmo empapado en agua y plátanos hervidos por los chinos; y en Mesoamérica y Perú, jugo de cactus y látex de plantas de caucho (Cubas Gálvez, 2019).

El propósito de estos materiales es ampliamente desconocido. Se sabe que los mayas usaban extractos de corteza y otras sustancias como retardadores de fraguado para mantener el estuco viable durante un largo período de tiempo. Más recientemente, se han utilizado aditivos químicos para ayudar a los productores de concreto a cumplir con los requisitos de sostenibilidad que son necesarios para la construcción moderna. Para el concreto, estos requisitos pueden estar relacionados con ciclos de vida extendidos, uso de materiales reciclados, manejo de aguas pluviales y uso reducido de energía. Los aditivos químicos se utilizan para facilitar el mayor uso de materiales cementosos suplementarios, reducir la permeabilidad y mejorar la durabilidad a largo plazo del concreto.

Los aditivos se han utilizado en el concreto y mortero desde al menos el Imperio Romano. Los romanos encontraron que ciertos materiales como la leche, la sangre y la manteca de cerdo, así como los materiales orgánicos como la melaza, los huevos y la pasta de arroz permiten una mayor trabajabilidad en las mezclas cementosas. Si bien la primera patente para el cloruro de calcio en el concreto se remonta a 1873 en Alemania, la tecnología de aditivos moderna comenzó con agentes incorporadores de aire básicos, retardadores, aceleradores y reductores de agua en la década de 1930 en América del Norte. Sin embargo, no fue hasta la década de 1950 que este tipo de productos comenzaron a tener un uso generalizado en el concreto. ASTM publicó por primera vez su estándar C494 en 1962, ahora titulado "Estándar

histórico: Especificación estándar para aditivos químicos para concreto". Que establecen criterios de rendimiento para cinco tipos de aditivos: A, B, C, D y E. Los tipos F y G, aditivos reductores de agua de alto rango, no se agregaron a la norma C494 hasta 1980. En 1962, solo 36 estados requerían o permitían el uso de aditivos en concreto (Gelardi, et. al., 2016).

Gelardi, et. al. (2016) señalaron que los aditivos abarcan un campo muy amplio en el área de la construcción. Los reductores de agua generalmente denominados plastificantes, retardadores y superplastificantes son de interés reciente. Se desarrollaron específicamente en Japón y Alemania alrededor de 1970. Más tarde, se hicieron populares en EE. UU. Y Europa, incluso en Oriente Medio. Hoy en día, los aditivos son componentes importantes y necesarios para la tecnología moderna del concreto y las propiedades de este pueden mejorarse tanto en estado fresco como endurecido.

2.2 Marco contextual

El concreto juega un papel vital en la construcción de edificios y la industria. Las propiedades preeminentes de resistencia, durabilidad, trabajabilidad y la capacidad del concreto para formarse en diversas formas estructurales lo convierten en el material de elección para diversos usos en la industria de la construcción. Se utiliza más que todos los demás materiales de construcción juntos y es atractivo en muchas aplicaciones, incluidos edificios, carreteras, puentes, túneles, tanques, infraestructuras y sistemas de alcantarillado (Gregori et. al., 2019).

Las prácticas de fabricación de concreto desempeñan un papel importante en todos los aspectos de la vida ambiental moderna, ya que provocan un aumento de las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono. En consecuencia, la producción de cemento es responsable del 5% de las emisiones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) y del 7% del consumo de recursos energéticos industriales (Habert, 2013). Las preocupaciones ambientales, derivadas del alto gasto de energía y la emisión de CO₂ asociadas con la fabricación de cemento, han generado presiones para disminuir la producción de cemento, según Betioli et al. (2012).

Sin embargo, está claro que al usar menos cemento Portland, el concreto puede ser más amigable con el medio ambiente. En los últimos años, los investigadores han realizado varios esfuerzos para desarrollar sistemas cementantes más sostenibles, como materiales de cementación suplementarios (SCM) y aditivos alternativos, con el fin de abordar los impactos ambientales negativos y el deterioro de las estructuras de concreto asociadas con el cemento Portland ordinario (Proops et al., 2012).

Debido a esta necesidad imperante de desarrollar materiales alternativos que sean amigables con el medio ambiente, se han empleado desde hace varias décadas materiales orgánicos, y en este sentido se hace referencia a materiales como la caña de azúcar. Esta industria juega un papel importante en la economía de Colombia al generar varios productos básicos que se consumen dentro del país y se exportan a todo el mundo (Morales, et. al., 2013). Este tipo de industria suele producir una gran cantidad de subproductos (azúcar, alcohol para vehículos, etanol, bebidas, etc.), pero también es responsable de crear una cantidad importante de

residuos, que requieren una adecuada disposición o uso como materia prima para otros materiales en la cadena de producción de otras industrias.

El desarrollo reciente de la tecnología del concreto ha mejorado la innovación de los aditivos para obtener el mejor rendimiento del concreto. Los aditivos adquieren un papel importante para mejorar los beneficios físicos y económicos con respecto al concreto y el mortero. El aditivo a base de azúcar demuestra que este tipo de aditivo tiene la capacidad de acelerar o retardar el endurecimiento del mortero y el concreto, y también mejorar la resistencia.

2.2.1 Nivel internacional

Los desarrollos alcanzados respecto a los aditivos a base de azúcar han enfatizado que la resistencia del concreto y el mortero se puede mejorar, además del beneficio de acelerar y también retardar la acción de este aditivo cuando se aplica en mezclas de concreto y mortero. Se ha podido demostrar que el azúcar, la sacarosa y el líquido de la caña de azúcar, se pueden utilizar como aditivos a base de azúcar que actúan como aceleradores y retardadores con dosis de 0.03% y 0.3% en peso de cemento.

Dichos logros también han demostrado que los aditivos a base de azúcar (azúcar, sacarosa, líquido de caña de azúcar) aumentan la resistencia del mortero y el concreto, desde los 7 días hasta los 84 días. Cuando la mezcla a base de azúcar consiste en un solo ingrediente (solo azúcar, o solo sacarosa, o solo líquido de caña de azúcar).

Algunas de estas investigaciones son por ejemplos los estudios desarrollados por Bhupender Singh (2016). En su trabajo titulado “Suitability of sugar waste in structural concrete” < Idoneidad de los residuos de azúcar en concreto estructural> El objetivo de este estudio es determinar la idoneidad del uso de melaza en concreto estructural en función de su resistencia, rigidez, estabilidad dimensional y durabilidad. Se realizaron estudios sobre una pasta de cemento, tres tipos diferentes de mezclas de mortero y tres mezclas de concreto diferentes, con y sin el uso de melaza. Se estudiaron los efectos de las diferentes dosis nivel 0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.50, 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00 y 6.00% de las melazas por peso de cemento en cuanto a consistencia estándar, tiempo de fraguado, comportamiento de reducción de agua y trabajabilidad en concreto fresco. Los estudios también se realizaron a 3 días, 7 días y 28 días de resistencia a la compresión del mortero para el nivel de dosificación 0, 0.10, 0.30, 0.50 y 0.60% de melaza por peso de cemento. También se llevó a cabo el análisis del efecto de la melaza en diferentes mezclas de concreto bajo las mismas condiciones de trabajabilidad. Los estudios se llevaron a cabo para la resistencia a la compresión de 3 días, 7 días y 28 días de resistencia a la compresión y resistencia a la tracción. El resultado de la prueba indica que la melaza actúa como acelerador hasta una dosis del 0,50% y luego como retardador. También es un agente reductor de agua. La resistencia inicial a la compresión y a la tracción (31 y 7 días) de la mezcla con concreto y mortero con melaza mostró una disminución considerable en la resistencia en comparación con la muestra de control. La resistencia a la compresión del mortero y el concreto después del día 28 se incrementa utilizando 0-0,50% de dosis de melaza, pero la más favorable es 0,30% de melaza por peso de cemento.

Otra de las investigaciones analizadas fue la desarrollada por Serte, A. (2019), el cual desarrollo el proyecto titulado “Impact of sugarcane molasses in concrete as time retarding and water reducing admixture” <Impacto de las melazas de azúcar en el concreto como aditivo retardante y reductor de agua> el objetivo de dicha investigación se centra en el impacto de la melaza de caña de azúcar en el concreto como aditivo retardador del tiempo y reductor de agua. Los siguientes experimentos se realizaron a temperatura ambiente con el fin de lograr los objetivos del estudio que incluye: Prueba de consistencia estándar de pasta de cemento con 0,2%, 0,4%, 0,6%, 0,8%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9% y 10% de melaza por peso de cemento y 0% como control, prueba de tiempo de fraguado de la pasta de cemento usando 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6% por peso de cemento y 0% como control, ensayo de asentamiento, ensayo de resistencia a la compresión y ensayo de tracción dividida del concreto utilizando 0%, 0,2%, 0,3%, 0,4% y 0,6% de melaza de caña de azúcar por peso de cemento.

Para la investigación desarrollada se ejecutaron correctamente tres tipos de concreto de grado C25, C30 y C40. Se produjeron muestras totales de 180 cubos de concreto de tamaño 150 mm x 150 mm x 150 mm y cilindros de tamaño 300 mm x 150 mm. De estas muestras, se usaron 90 cubos para la prueba de resistencia a la compresión y 90 cilindros para la prueba de resistencia a la tracción dividida en períodos de curado de 7 y 28 días para ambos. Los resultados anteriores habían mostrado que la melaza de caña de azúcar actuaba como aditivo acelerador hasta un 0,4% de la dosis de melaza, y por encima del 0,4% como aditivo retardador. Esto implica que actuó como aditivo acelerador del tiempo de fraguado a un nivel de dosificación más bajo y como aditivo retardador del tiempo de fraguado a un nivel de dosificación más alto. La

melaza de caña de azúcar actuó como un aditivo reductor de agua y su capacidad de reducir el agua fue una reducción del 3% desde el 0,2% hasta el 6% del nivel de dosificación y en un 8% de reducción al 8% del nivel de dosificación de la melaza de caña de azúcar. El valor de la prueba de asentamiento de los tres grados de concreto C25, C30 y C40 se incrementó debido al incremento del nivel de dosis de melaza de caña de azúcar. Esto implica que mejora la trabajabilidad y la capacidad reductora de agua del concreto. Después de períodos de curado de 28 días, la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción del concreto se incrementaron hasta un 0,4% en la dosis de melaza y en un porcentaje más alto de melaza, la resistencia se redujo. La resistencia a la tracción del período de curado de 7 días se redujo con un mayor porcentaje de melaza, excepto el 0,3% de la dosis de melaza. Estos resultados revelaron que la adición de 0.3% de melaza de caña de azúcar dio los mejores resultados en las pruebas de resistencia a la compresión y tracción de las probetas de concreto hechas con concreto grado C25, C30 y C40 Por lo tanto, 0.3% resultó ser la dosis óptima.

2.2.2 Nivel Nacional

A nivel nacional también se han desarrollado investigaciones en el uso de la caña de azúcar, por ejemplo, el trabajo desarrollado por Soto Gutiérrez (2019) titulado “Efecto del azúcar de caña en las propiedades físicas y mecánicas de las pastas y morteros elaborados con cemento Tequendama” los resultados obtenidos indican que el azúcar de caña al ser adicionado a las mezclas de pasta de cemento y motero, tiene propiedades retardantes y acelerantes, según la concentración que se emplee. Así mismo, existe un límite de la cantidad que se emplea del azúcar de caña como aditivo que trabaja como un retardante del fraguado cuando su

concentración está entre 0,03% y 0,15% del peso del cemento, y a partir del 0,15%, actúa como acelerante y a su vez reduce la resistencia por lo que no conviene su empleo en las obras. Es decir que cuando se requiere emplear el azúcar de caña como retardante del fraguado, se recomienda una dosis entre 0,05% y 0,07%, puesto que demarcan un bajo tiempo de fraguado, pero se logra una mayor resistencia a los 7 y 28 días de edad, siendo la concentración de 0,07% la que aumenta en un 30% la resistencia de la mezcla respecto a la muestra patrón.

Otro de los trabajos analizados corresponde a la investigación desarrollada por Ruiz et. al (2020), titulada “Análisis comparativo de resultados en el uso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar como material sustituyente del cemento portland en el concreto” en el que describe la comparación de resultados de diferentes investigaciones que se han realizado con el uso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar como sustituyente del cemento portland en la elaboración del concreto estructural, teniendo como objetivos analizar la actividad puzolánica de las distintas muestras que se tomaron para realizar este artículo y comparar estos resultados con otras investigaciones elaboradas con otros materiales. Teniendo en cuenta aspectos importantes como la contaminación ambiental que genera este residuo, sus cantidades de sílice (SiO_2) y aluminia (Al_2O_3) y su proceso de obtención de la caña de azúcar. Como conclusiones se pudo observar el compromiso que las empresas que generan este residuo tienen con el medio ambiente desarrollando planes que permitan mitigar el impacto que este produce y también como algunos estudios analizados no recomiendan el uso de este sedimento en la elaboración de concreto estructural debido a su disminuida resistencia a la compresión y a su vez, por el contrario, como otros estudios si lo recomiendan como sustituto parcial de agregado fino, en la producción de mortero.

2.2.3 Nivel Local

A nivel local, desde la Universidad Francisco de Paula Santander se han direccionado algunos trabajos los cuales se relacionan con la melaza de caña de azúcar y los aditivos. Ejemplo de ello es el trabajo desarrollado por Velasquez y Duran (2016). Con su trabajo titulado “Evaluación de la aptitud de concretos, reemplazando parcialmente el cemento portland por cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar” en el cual se estudió la resistencia a la compresión de mezclas de concreto, sustituyendo el 5%, 10%, 15% y 20% de cemento por cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar; se clasificaron además las cenizas y posteriormente se determinó la resistencia de las muestras a edades de 7, 14 y 28 días. En cuanto a los resultados, se obtuvo como porcentaje óptimo de adición el 5% para ambas cenizas.

Otro de los trabajos analizados fue el desarrollado por Quintero y Herrera (2021), titulado “Aditivos reductores de agua de alto rango o superplastificantes y su efecto en las propiedades del concreto” en el cual realizaron una compilación referente al efecto que produce la adición de aditivos reductores de agua de alto rango o superplastificantes en las propiedades del concreto. El desarrollo de dicho trabajo se pudo establecer que la incorporación de aditivos superplastificantes en el concreto si produce afectaciones directas, y que éstas resultan ventajosas siempre y cuando se apliquen cantidades de aditivo comprendidas entre los 600 y los 1200 ml por cada 100 kg de cemento. Cantidades a superior a 1200 ml de aditivo tiende a producir afectaciones negativas en el concreto, por lo cual se recomienda cumplir con la realización de los ensayos necesarios para establecer la cantidad óptima de aditivo a emplear.

2.3 Marco conceptual

Concreto: es un material compuesto que consta de agregados, cemento y agua que se utilizan en la construcción. Los agregados son generalmente grava gruesa o rocas trituradas como piedra caliza o granito y el agregado fino puede ser un material como arena o puede fabricarse como escoria. El cemento comúnmente utilizado es el cemento Portland y otros materiales como las cenizas volantes y el cemento de escoria sirven como aglutinante para los agregados. Luego se mezcla agua con este compuesto seco, que reacciona con el cemento a través de un proceso químico llamado hidratación. A través de esta reacción, el material compuesto finalmente se solidifica y endurece creando un material robusto y compacto similar a la piedra conocida como concreto (Johnston, 2014).

El concreto es la columna vertebral del desarrollo de la infraestructura de todo el mundo, ya que es una parte indispensable del tejido de la sociedad moderna que se utiliza para todo, desde pavimentos de carreteras hasta estructuras de edificios de gran altura. El concreto es plástico y maleable en estado fresco, pero fuerte y duradero cuando se endurece, el concreto tiene propiedades ventajosas como buena resistencia a la compresión, alta capacidad de moldeado, plástico y maleable cuando está fresco y duradero, impermeable y resistente al fuego cuando está endurecido. Estas cualidades explican por qué el concreto se puede utilizar para construir rascacielos, puentes, aceras, carreteras, casas, estructuras de contención, estadios y presas. Por lo tanto, existe una demanda creciente de concreto a diario y también un aumento en el precio del material (Patil et al. 2014).

El concreto tiene algunas propiedades indeseables, como baja resistencia a la tracción, baja ductilidad, gran peso y baja absorción de energía. Estas desventajas han llevado a los ingenieros civiles a hacer uso del refuerzo convencional para aumentar la resistencia a la tracción y la ductilidad. El concreto también se caracteriza por una falla casi frágil, la pérdida casi completa de la capacidad de carga, una vez que se inicia la falla. El concreto se puede modificar para que funcione de una manera más dúctil mediante la adición de fibras discretas distribuidas al azar en la matriz de concreto, que previenen y controlan la iniciación, propagación y coalescencia de las grietas (Sukumar y John, 2014). La inclusión de fibras en la matriz de base de cemento actúa como un supresor de micro fisuras no deseado. La prevención de la prórroga de grietas bajo carga puede resultar en una mejora en las propiedades estáticas y dinámicas de la matriz a base de cemento. La capacidad de servicio del concreto de cemento reforzado con fibra también se mejora debido a la restricción de la entrada de agua y otros contaminantes a través de microgrietas que provocan la corrosión del refuerzo de acero (Nibudey .; et al, 2014).

Aditivos: Según el Instituto Americano del Concreto (ACI), un aditivo se define como “un material que no sea agua, agregados, materiales cementosos y refuerzo de fibra, utilizado como ingrediente de una mezcla cementosa para modificar sus propiedades recién mezcladas, fraguadas o endurecidas, y que se agrega al lote antes o durante su mezcla ". Carhuamaca (2012) afirmó que el concreto se está utilizando para una amplia variedad de propósitos para hacerlo adecuado en diferentes condiciones. En estas condiciones, el concreto ordinario puede no presentar el rendimiento o la durabilidad requeridos. En tales casos, el aditivo se utiliza para modificar las propiedades del concreto ordinario para hacerlo más adecuado a cualquier situación. Además, un aditivo debe emplearse sólo después de una evaluación adecuada de sus

efectos sobre el concreto. También se debe ejercer cierto control para asegurar la cantidad adecuada de aditivo en la producción de concreto.

De acuerdo con ASTM: C494 / C494M-13 (2013), los aditivos químicos son cualquier aditivo químico de la mezcla de concreto que mejora las propiedades del concreto en estado fresco o endurecido. Estos cambios se efectúan a través de la influencia de la mezcla sobre la hidratación, la liberación de calor, la formación de poros y el desarrollo de la estructura del gel. Los productos químicos de uso general incluyen aquellos que reducen la demanda de agua para una trabajabilidad determinada que se denominan reductores de agua, y los productos químicos que controlan el tiempo de fraguado y la tasa de ganancia de resistencia del concreto se denominan aceleradores y retardadores.

Aditivos retardadores: Este tipo de aditivos químicos son capaces de retrasar o prolongar el fraguado de la pasta de cemento, por lo que el concreto permanece plástico y trabaja por más tiempo que el concreto normal sin cambiar sus propiedades mecánicas. También se utiliza para superar el efecto acelerador del clima cálido en el tiempo de fraguado del concreto. Funciona recubriendo la superficie de los componentes de silicato tricálcico (C_3S), retrasando así esta reacción con el agua (Greesan et. al., 2014).. Los principales ingredientes de los retardadores son los siguientes:

1. Ácidos de lignosulfonatos y sus sales
2. Ácidos hidroxicarboxílicos y sus sales
3. Carbohidratos (azúcar).

4. Compuestos inorgánicos como fosfatos.

Ventajas:

- Mejora la trabajabilidad, la cohesión y prolonga el tiempo de fraguado, brinda protección contra retrasos y paros y facilita el mantenimiento del concreto trabajable durante un período prolongado.
- En la construcción grande, se garantiza una buena trabajabilidad del concreto durante todo el período de colocación y la prevención de juntas frías mediante la adición de retardadores en el concreto.
- El tiempo de fraguado extendido minimiza los riesgos de entrega a larga distancia en climas cálidos, mejora la capacidad de bombeo del concreto mediante un período de fraguado extendido y mejora la trabajabilidad del concreto.
- Reduce el sangrado y la segregación donde es inevitable una mala clasificación de la arena.
- Reduce los efectos ambientales adversos de diversa naturaleza sobre el concreto y el acero empotrado mediante una reducción considerable de la permeabilidad.

Aditivos aceleradores: Estos aditivos cuando se agregan al concreto o mortero aumentan la tasa de hidratación del cemento hidráulico, acortan el tiempo de fraguado y aceleran el endurecimiento o desarrollo de la resistencia del concreto o mortero. Los aditivos aceleradores funcionan mediante la interacción con el componente silicato tricálcico (C_3S) del cemento, aumentando así la reacción entre el cemento y el agua. La función de los aditivos aceleradores es: reduce el tiempo de fraguado del cemento y por lo tanto aumenta la tasa de ganancia de

resistencia, permite la remoción más temprana del encofrado de concreto acelerando la producción, reduce la segregación y aumenta la resistencia a la compresión. Reduce las necesidades de agua, el sangrado y la contracción.

Estos aditivos cuando se agregan al concreto, mortero o lechada aumentan la tasa de hidratación del cemento hidráulico, acortan el tiempo de fraguado y aceleran el endurecimiento o el desarrollo de la resistencia del concreto / mortero. El uso de aceleradores ofrece las siguientes ventajas:

- Reducción del período de curado requerido
- Colocación más temprana de la estructura en servicio
- Acabado temprano de la superficie
- Reparaciones rápidas al concreto existente

Aditivos plastificantes: Un material que aumenta la trabajabilidad del concreto recién mezclado sin aumentar la proporción de agua-cemento o mantiene la trabajabilidad con una cantidad reducida de agua, se denomina aditivo reductor de agua.

Como su nombre lo indica, la función del aditivo reductor de agua es reducir el contenido de agua de la mezcla, generalmente entre un 5 y un 10%, a veces (en concreto de muy alta trabajabilidad) hasta un 15%. Por tanto, el propósito de usar un aditivo reductor de agua en una mezcla de concreto es permitir una reducción en la relación agua-cemento mientras se retiene la trabajabilidad deseada o, alternativamente, mejorar su trabajabilidad a una relación agua-

cemento dada. La reducción real de agua depende de la dosis de aditivos, el contenido de cemento, el tipo de agregado utilizado, la proporción de cemento, agregado fino y grueso, etc. Por lo tanto, las mezclas de prueba que contienen un material real que se utilizará en el trabajo son esenciales para lograr propiedades óptimas. .

Ventajas:

- Aumentan la trabajabilidad del concreto sin reducir la resistencia a la compresión o sin cambiar la relación agua-cemento. Esto es particularmente útil cuando los poros del concreto están restringidos debido a un refuerzo congestionado o debido a secciones delgadas.
- Se puede obtener una alta resistencia con el mismo contenido de cemento reduciendo la proporción de agua-cemento.
- Se puede lograr un ahorro en la cantidad de cemento (aprox. hasta un 10%) manteniendo la misma relación agua / cemento y trabajabilidad.

Aditivos súper plastificantes: Los aditivos súper plastificantes también se denominan reductores de agua de alto rango. El uso de superplastificantes puede permitir la reducción de agua en la mezcla de concreto hasta en un 30% sin producir ningún efecto negativo sobre la trabajabilidad. Las razones para usar aditivos súper plastificantes según lo especificado por Gupta y Gupta (2012) son:

- Para producir un concreto más trabajable con la misma relación agua / cemento

- Para la misma trabajabilidad, la relación agua-cemento se puede reducir significativamente manteniendo el mismo contenido de cemento y trabajabilidad esto conducirá a un aumento de la fuerza.
- El uso de superplastificante también permite reducir en mayor medida el contenido de cemento manteniendo la misma relación agua / cemento.

La acción dispersante del superplastificante aumenta la trabajabilidad del concreto, por lo general elevando el asentamiento de 75 mm a 200 mm, manteniendo la mezcla cohesiva. El concreto resultante se puede colocar con poca o ninguna compactación y no está sujeto a sangrado o segregación excesivos. Dicho concreto se denomina concreto fluido y es útil para colocarlo en secciones muy reforzadas, en áreas inaccesibles, en losas de suelo o carreteras, y también donde se desea una colocación muy rápida. El principal modo de acción de los superplastificantes es su capacidad para dispersar partículas de cemento de manera muy eficiente. Como no incorporan aire, se pueden utilizar a altas tasas de dosificación sin afectar la resistencia.

Ventajas:

- El contenido de cemento se puede reducir en mayor medida manteniendo las directrices sobre el uso de Aditivos en Concreto en la misma proporción agua / cemento. Esto conducirá a la economía.
- La relación agua-cemento se puede reducir significativamente manteniendo el mismo contenido de cemento y trabajabilidad. Esto dará lugar a un aumento de la fuerza.
- Mayor trabajabilidad con una proporción de agua-cemento muy baja.

- Reducción de la permeabilidad

Melaza de caña de azúcar: La melaza de caña de azúcar es un líquido almibarado de color marrón oscuro muy espeso, subproducto de la industria azucarera. La composición de sus componentes está influenciada por factores como el cultivo de la caña de azúcar, el tipo de suelo, la temperatura ambiente, la humedad, la temporada de producción, la variedad, las prácticas de producción en una planta de procesamiento en particular y las variables de almacenamiento. En consecuencia, se puede encontrar una variación considerable en el contenido de nutrientes, sabor, color, viscosidad y contenido total de azúcar (Behar, 2017).

La melaza se usa generalmente para tecnologías de fermentación para producir etanol. El tratamiento de fermentación de la melaza para producir levadura o proteínas de panadería también está estrechamente relacionado con la producción de etanol. La melaza producida en Kenia se usa principalmente en la fabricación de gasohol, producción de bebidas alcohólicas y también se usa como alimento para animales (Behar, 2017).

La melaza se aplica en muchos procesos alimentarios o no alimentarios debido a su alto contenido de compuestos nitrogenados, carbohidratos y su sabor dulce (Sarka, et al., 2012) el uso de melaza en el sector vial es como (i) polvo paliativo en los senderos alrededor de las fábricas de azúcar y (ii) para fabricar material a base de melaza para el deshielo de carreteras (Sarka et al., 2012) También la investigación que se realizó para reemplazar el betún en cierta cantidad para carreteras pavimentadas con poco tráfico ha mostrado resultados alentadores.

Durante el proceso de elaboración del azúcar, el jugo extraído de la caña de azúcar o la remolacha azucarera se hierva hasta que los azúcares cristalizan y precipitan. El jarabe que queda después de la cristalización se conoce como melaza. Por lo general, el jugo de la caña de azúcar se somete a tres ciclos de ebullición y cristalización para extraer la mayor cantidad de azúcar posible. Con cada ciclo sucesivo, la melaza sobrante puede variar en color, dulzura y contenido nutricional según la variedad o la cantidad de azúcar extraída. Dependiendo de esta melaza se clasifican de la siguiente manera (Behar, 2017).

- Melaza ligera: este es el jarabe que queda después del primer ciclo de ebullición del jugo de caña de azúcar. Esta melaza es de color más claro, tiene el mayor contenido de azúcar y la textura menos viscosa porque se ha extraído comparativamente poca azúcar de la fuente.
- Melaza oscura: la melaza oscura es el subproducto del segundo ciclo de ebullición de la caña de azúcar. Esta melaza es más oscura y viscosa que la melaza clara y contiene menos azúcar.
- Melaza de correa negra: este es el subproducto final del tercer ciclo de ebullición en el proceso de elaboración del azúcar. Esta variedad de melaza contiene la menor cantidad de azúcar y la mayor concentración de vitaminas y minerales. La melaza de correa negra tiene un color muy oscuro y es de textura extremadamente viscosa. Debido a que este tipo de melaza está altamente concentrado, tiene un sabor picante profundo. Blackstrap tiene el contenido de azúcar más bajo de todas las melazas y se caracteriza por contener un contenido nutricional más alto, particularmente

manganeso, calcio, hierro, potasio, magnesio, cobre y vitamina B6 que cualquier otro azúcar refinado.

2.4 Marco teórico

Los aditivos son materiales que se utiliza como ingrediente de una mezcla de cementaciones para modificar sus propiedades recién mezcladas, de fraguado o endurecido, y que se agrega al lote antes o durante su mezcla en la industria de la construcción. Según (Adefemi & Muhammad, 2013) los aditivos se utilizan para mejorar las propiedades del concreto y el mortero en estado plástico y endurecido. Estas propiedades pueden modificarse para aumentar la resistencia a la compresión y a la flexión en todas las edades, disminuir la permeabilidad y mejorar la durabilidad, reducir la contracción, acelerar o retardar el fraguado inicial, aumentar el asentamiento y la trabajabilidad, mejorar la capacidad de bombeo y la capacidad de acabado, aumentar la eficiencia del cemento y mejorar la economía de la mezcla.

Adicionalmente diversas investigaciones han permitido establecer que el azúcar y sus derivados se pueden usar como retardantes y acelerantes dependiendo de las dosificaciones (Álvarez, 2017; Galindo, 2020; Soto Gutiérrez, 2019), también han permitido demostrar que el azúcar de menor dosificación en el rango de 0.01% a 0.05% en peso de cemento actúa como retardador y 0.4% a 2% de azúcar en peso de cemento actúa como acelerador. Después de todo, se llegó a la conclusión de que el uso de azúcar como aditivo puede mejorar varias propiedades del concreto tanto en estado fresco como endurecido.

En este sentido, a continuación, se describen y analizan algunos conceptos y teorías referentes al concreto, su diseño, composición, entre otros. Destacando el uso de materiales alternativos como la melaza de caña de azúcar como una estrategia sostenible frente a compuestos químicos industriales que generan un gran impacto ambiental.

2.4.1 Teoría del cemento

El cemento es un aglutinante, un material utilizado para la construcción que fragua, endurece y se adhiere a otros materiales para unirlos. Es el componente principal del concreto; sus propiedades afectan las propiedades del concreto elaborado con determinadas marcas de cemento (Anejo, Gbengalapinni y Ahmadu, 2014). El cemento se clasifica en tipos, hidráulicos y no hidráulicos, según la capacidad del cemento para fraguar en presencia de agua.

El cemento Portland ordinario es el tipo más común de cemento hidráulico. Las materias primas con las que se elabora son cal, sílice, alúmina y óxido de hierro. Estos componentes se trituran y mezclan en las proporciones correctas y se queman en un horno rotatorio. El clínker se enfría, se mezcla con yeso y se muele hasta obtener un polvo fino para dar cemento. Los principales compuestos químicos del cemento son los silicatos y aluminatos de calcio, cuando se agrega agua al cemento y los componentes se mezclan para formar una pasta de cemento, ocurren reacciones químicas y la mezcla se vuelve más rígida con el tiempo y fragua. La adición de yeso retarda y controla el tiempo de fraguado. Esto garantiza que el concreto no fragüe demasiado rápido antes de que pueda colocarse o demasiado lento para detener la construcción (Bamigboye, et al., 2015).

2.4.1.1 Composición química del cemento Portland ordinario Las materias primas utilizadas para la fabricación de cemento consisten principalmente en cal, sílice, alúmina y óxido de hierro. Estos óxidos interactúan entre sí en el horno a alta temperatura para formar compuestos más complejos. Estos compuestos reaccionan juntos para producir los cuatro compuestos clave del cemento Portland. Las proporciones relativas de estas composiciones de óxidos son responsables de influir en las diversas propiedades del cemento; además de la velocidad de enfriamiento y la finura de la molienda (Bamigboye, et al., 2015).

Los diversos componentes se combinan en la combustión y forman clínker de cemento. Los compuestos formados en el proceso de combustión tienen las propiedades de fraguar y endurecer en presencia de agua. Se les conoce como compuestos de Bogue por el nombre de Bogue que identificó los compuestos. Los siguientes compuestos de Bogue que se muestran en la Tabla 1. se forman durante el proceso de clínker que son los principales compuestos del cemento Portland ordinario (Duggal, 1990).

Tabla 1
Los principales componentes químicos del cemento Portland

COMPUESTO	FORMULA	ABREVIACION
Silicato Tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C3S
Silicato Dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C2S
aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C3A
Aluminoferrita de tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C4AF

Los constituyentes anteriores que forman las materias primas experimentan reacciones químicas durante la combustión y la fusión, y se combinan para formar los siguientes compuestos llamados COMPUESTOS DE BOGUE

Silicato tricálcico

Se supone que el silicato tricálcico es el mejor material cementante, es alrededor del 25-50% (normalmente alrededor del 40%) del cemento. Hace que el clinker sea más fácil de moler, aumenta la resistencia a la congelación y descongelación, endurece rápidamente y proporciona una resistencia temprana y una rápida evolución del calor. Sin embargo, el aumento del contenido de C_3S más allá de los límites especificados aumenta el calor de hidratación y la solubilidad del cemento en agua. La hidrólisis de C_3S es la principal responsable de la resistencia y dureza de 7 días. La velocidad de hidrólisis de C_3S y el carácter del gel desarrollado son las principales causas de la dureza y resistencia inicial de la pasta de cemento.

Silicato dicálcico

El silicato dicálcico es alrededor del 25-40% (normalmente alrededor del 32%) de cemento. Se hidrata y se endurece lentamente y toma mucho tiempo para aumentar la fuerza (después de un año o más). Imparte resistencia al ataque químico. En realidad, el C_2S en el cemento no son compuestos puros, sino que contienen óxidos menores en solución sólida, estos óxidos tienen efectos significativos sobre la disposición atómica, la forma cristalina y las propiedades hidráulicas del silicato.

El aumento del contenido de C_2S hace que el clínker sea más difícil de moler, reduce la resistencia inicial, disminuye la resistencia a la congelación y descongelación a edades tempranas y disminuye el calor de hidratación. La hidrólisis de C_2S procede lentamente. A edades tempranas, menos de un mes, C_2S tiene poca influencia sobre la fuerza y la dureza, mientras que después de un año, su contribución a la resistencia y dureza es proporcionalmente casi igual a C_3S .

Aluminato tricálcico

El aluminato tricálcico es alrededor del 5-11% (normalmente alrededor del 10,5%) de cemento. Reacciona rápidamente con el agua y es responsable del rápido fraguado del clínker finamente molido. La rapidez de acción está regulada por la adición de 2-3% de yeso en el momento de moler el cemento.

2.4.1.2 Fraguado y endurecimiento del cemento. Deben distinguirse entre los procesos de fraguado y endurecimiento, el fraguado del cemento es el acto de cambiar el cemento mezclado de un estado fluido a un estado sólido y el tiempo que tarda en fraguar se denomina tiempo de fraguado del cemento. El tiempo de fraguado del cemento es similar al tiempo de fraguado del concreto. Cuando se agrega agua al cemento, la hidratación comienza inmediatamente y cuatro compuestos de cemento (C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF) se hidratan y forman un gel (CSH: Calcium Hidrato de silicato) que es la forma compuesta compleja de cristales de hidrosilicato. El gel se espesa gradualmente y actúa como pegamento alrededor de otras partículas. Así, el cemento comienza a fraguar. Y después de eso, comienza a ganar fuerza y esto

puede continuar durante semanas o meses después de que el cemento, mortero o concreto se haya mezclado con agua e implantado.

Hay dos etapas de configuración: configuración inicial y configuración final. El tiempo de fraguado inicial proporciona una estimación de cuánto tiempo el concreto pueden permanecer en el estado plástico para que el transporte, la colocación y el acabado se puedan realizar fácilmente dentro del plazo específico y se puedan realizar los arreglos necesarios. El tiempo de fraguado final predice cuánto tiempo tardará el concreto en fraguar y volverse lo suficientemente rígido para conservar la forma, de modo que se pueda quitar el encofrado. Si retira el encofrado durante la etapa de fraguado, puede desarrollar grietas internas y la deformación comienza y aparece en la superficie debido a la falta de rigidez.

Para conocer el tiempo de fraguado del cemento, se realiza la prueba de tiempo de fraguado. Generalmente se llevan a cabo la prueba del tiempo de fraguado inicial y la prueba del tiempo de fraguado final del cemento. Se utiliza un aparato Vicat para realizar estas pruebas para cemento.

El tiempo de fraguado inicial y el tiempo de fraguado final del cemento dependen de varios factores como tipos de cemento, temperatura, condiciones climáticas, finura del cemento, cantidad de agua, uso de aditivos, etc. El endurecimiento es la ganancia regular de resistencia de la pasta de cemento fraguada. Es un proceso que continúa, aunque a un ritmo decreciente, durante períodos de días, meses y años. La velocidad de endurecimiento se rige parcialmente por la distribución del tamaño de partícula del polvo de cemento. El cemento finamente molido se

hidrata más rápidamente y, por lo tanto, comienza a fraguar y endurecer más rápidamente (Torres y Puertas, 2017).

2.4.2 Propiedades del concreto

2.4.2.1 Trabajabilidad El Instituto Americano del Concreto (ACI) 116R define la trabajabilidad como “aquella propiedad del concreto o mortero recién mezclado que determina la facilidad y homogeneidad con la que se puede mezclar, colocar, compactar y terminar en una condición homogénea”. La trabajabilidad se puede identificar mediante tres parámetros principales (Rojas y Wilson, 2014).

- **Cohesión:** la resistencia a la segregación,
- **Consistencia:** la facilidad de flujo y
- **Plasticidad:** la facilidad de moldeado.

Se suelen evaluar la trabajabilidad mediante la prueba de asentamiento (ASTM C143).

En la cual varios factores pueden influir en la trabajabilidad de una mezcla, como lo son:

- **Contenido de agua:** para un contenido de cemento dado, aumentar el agua hará que la mezcla sea más fluida.
- **Contenido de cemento:** para un contenido de agua dado, la disminución del contenido de cemento producirá mezclas rígidas con baja trabajabilidad. El concreto con alto contenido de cemento muestra una alta cohesión, pero se vuelve pegajoso.

- **Relación agua-cemento (a / c):** aumentar a / c aumentará la trabajabilidad.
- **Gradación, forma y textura de la superficie de los agregados:** Los agregados bien graduados aumentarán la trabajabilidad. El aumento del contenido de agregado fino aumenta la trabajabilidad, pero una cantidad excesiva puede hacer que las mezclas se vuelvan pegajosas. Los agregados esféricos de superficie lisa aumentarán la trabajabilidad, mientras que los agregados angulares de superficie rugosa disminuirán la trabajabilidad.
- **Tipo de mezcla y dosificación:** Los agentes reductores de agua se agregan deliberadamente para aumentar la trabajabilidad.
- **Materiales cementantes suplementarios:** Aumentar el contenido de materiales cementantes suplementarios generalmente aumentará la trabajabilidad.
- **Tipo de cemento:** Aumentar la finura del cemento disminuirá la trabajabilidad para un a / c dado porque el cemento más fino tendrá un mayor requerimiento de agua debido a su mayor área de superficie específica.
- **Aire arrastrado:** Aumentar el aire arrastrado aumentará la trabajabilidad.
- **Duración del proceso de mezcla:** Aumentar la duración del proceso de mezclado disminuirá la trabajabilidad.
- **Temperatura del aire ambiente:** las temperaturas más altas aumentan la tasa de hidratación, lo que disminuye la trabajabilidad.

Aunque la trabajabilidad generalmente se cuantifica mediante las pruebas de asentamiento, estas pruebas tienen un valor limitado porque no caracterizan completamente el flujo de concreto (Ferraris y Gaidis 1992). Para mezclas con diferentes proporciones, las pruebas

de asentamiento no deben usarse como comparación, pero indican uniformidad para mezclas similares (Kosmatka et al. 2002). Sin embargo, las mezclas con el mismo valor de asentamiento pueden no comportarse de la misma manera durante la colocación (Rojas y Wilson, 2014).

Contenido de Agua:

El contenido de agua es el factor más importante para la trabajabilidad y el aumento del contenido de agua en el concreto aumentará la trabajabilidad. Sin embargo, se debe evitar el contenido excesivo de agua para prevenir la segregación. Para un contenido de cemento dado, el aumento del contenido de agua también aumentará a/c y ese aumento de a/c aumentará la trabajabilidad (Noruzman et. al., 2012).

Contenido de Cemento:

La trabajabilidad se ve afectada por el volumen de la pasta, porque la pasta lubrica los agregados. Para un contenido de agua dado, la disminución del contenido de cemento aumenta la rigidez del concreto con poca trabajabilidad. El concreto con alto contenido de cemento muestra una alta cohesión y se vuelve pegajoso, para prevenir un efecto adverso, se debe utilizar un contenido de cemento apropiado para lograr la trabajabilidad deseada.

Agregados:

Los áridos constituyen del 60% al 75% del volumen total del concreto; por lo tanto, su selección es muy importante en el proceso de diseño de la mezcla. La gradación, la forma, la porosidad y la textura de la superficie de los agregados afectan la trabajabilidad del concreto. Los agregados deben estar bien clasificados para lograr la trabajabilidad deseada porque los

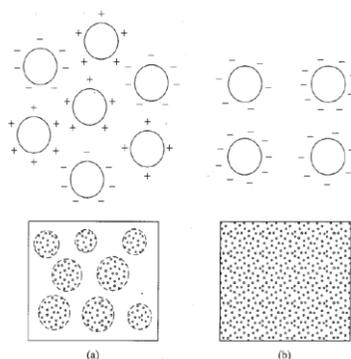
agregados finos tienen un alto requerimiento de agua debido a su alta superficie específica y la cantidad inadecuada de agregado fino hace que las mezclas se vuelvan rígidas y segregadas. La forma y textura de los agregados afectan la trabajabilidad a través de su efecto sobre los requisitos de la pasta de cemento. Los agregados esféricos, bien redondeados con superficie lisa aumentan la trabajabilidad, mientras que los agregados angulares, alargados y de superficie rugosa disminuyen la trabajabilidad y causan segregación (Noruzman et. al., 2012).

Aditivos químicos:

ASTM C125 (2003) define un aditivo como “un material que no sea agua, agregados, cemento hidráulico y fibras que se usa como ingrediente de concreto o mortero, y se agrega al lote inmediatamente antes o durante su mezclado”. Existen diferentes tipos de aditivos químicos, Los agentes reductores de agua hacen que el agua esté disponible en el concreto al neutralizar la carga superficial de las partículas de cemento que causan la floculación y bloquean las partículas de agua en esos aglomerados como se presenta en la Figura 1. Por lo tanto, para un contenido de agua dado, la adición de un aditivo reductor de agua aumentará la trabajabilidad.

Figura 1

Acción dispersante de los agentes reductores de agua a) pasta floculada; b) pasta dispersa.



Nota: Mindess et al.2003

Materiales cementosos suplementarios:

Los materiales cementosos suplementarios, especialmente cenizas volantes, escoria, arcilla calcinada, metacaolín y lutita generalmente mejoran la trabajabilidad del concreto porque su morfología esférica fina reduce la fricción entre partículas. Sin embargo, el humo de sílice aumenta el requerimiento de agua y la adherencia de una mezcla de concreto debido a su alta área de superficie (Noruzman et. al., 2012).

2.4.2.2 Resistencia McCormac (2011) definen la resistencia como “la resistencia máxima de una muestra de concreto a la carga axial”. Aunque otros parámetros como la durabilidad y la contracción pueden ser más críticos para evaluar la calidad del concreto, la resistencia todavía se usa comúnmente para este propósito, particularmente en aplicaciones estructurales. La resistencia se ve afectada por los siguientes factores:

- **Relación agua-cemento (a / c):** aumentar la relación a / c disminuirá la resistencia.
- **Grado de hidratación:** Aumentar el grado de hidratación aumentará la fuerza.
- **Edad:** la resistencia aumenta a medida que aumenta la edad del concreto, inicialmente rápidamente y disminuyendo con el tiempo.
- **Materiales cementantes suplementarios:** Aumentar el contenido de materiales cementantes suplementarios cambiará la resistencia.
- **Aire incorporado:** Aumentar el aire incorporado disminuirá la fuerza.
- **Tipo de mezcla y dosificación:** los agentes reductores de agua pueden tener una influencia indirecta en la concentración.
- **Agregados:** Los agregados rugosos y angulares aumentarán la resistencia.

- **Tipo de cemento:** Aumentar la finura del cemento aumentará la resistencia inicial.
- **Contenido de cemento:** Para un a / c dado, la resistencia es supuestamente independiente del contenido de cemento.

Contenido de cemento:

Se considera que la resistencia es una función de a / c e independiente del contenido de cemento para un a / c dado, por lo tanto, aumentar el contenido de cemento no afecta la resistencia. Además, de acuerdo con la regla de Abrams, el contenido de pasta no afecta la resistencia, aunque sí se ve afectado por la calidad de la pasta.

Por otro lado, es necesario agregar más cemento para cumplir con la especificación de resistencia cuando el contenido mínimo de cemento no es suficiente. Además, se informa que lograr una alta resistencia aumentando el contenido de cemento es difícil cuando el contenido de cemento está por debajo de $350 \text{ kg} / \text{m}^3$. Estos hallazgos muestran una relación directa entre la resistencia y el contenido de cemento en oposición a la regla de Abrams.

Relación agua-cemento:

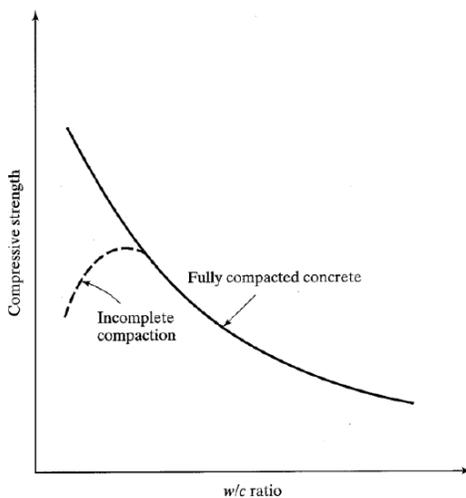
La resistencia a cualquier edad en particular es una función de a / c y el grado en que los materiales cementosos se han hidratado, porque afectan la porosidad tanto de la pasta de cemento como de la zona de transición interfacial entre el agregado grueso y la pasta de cemento.

La resistencia disminuye con el aumento de a / c (Figura 2) porque la porosidad capilar aumenta como se aprecia en la Figura 3. Entonces para aumentar la resistencia, se debe reducir la

relación a/c , y la forma más eficiente es reducir el contenido de agua en vez de usar más cemento.

Figura 2

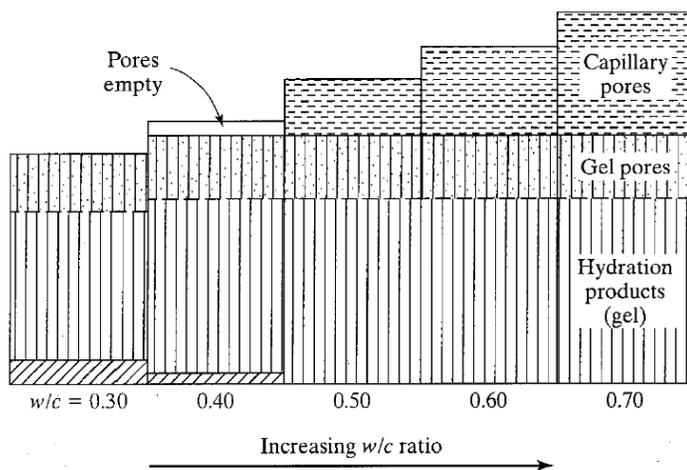
Relación entre la resistencia a la compresión y la relación agua-cemento.



Nota: Mindess et al.2003

Figura 3

Relación entre porosidad y la relación a/c .



Nota: Mindess et al.2003

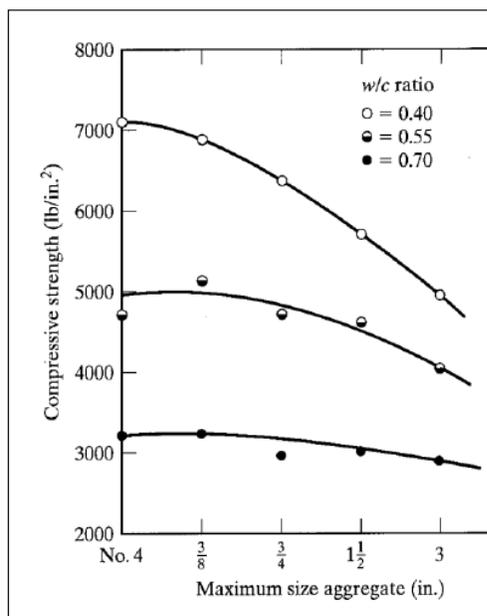
Agregados:

Los agregados rugosos y angulares aumentarán la resistencia porque se adhieren mejor a la pasta de cemento. Sin embargo, una vez que la interacción química entre el agregado y la pasta de cemento es efectiva en edades posteriores, la textura de la superficie del agregado reduce su influencia sobre la resistencia.

El tamaño máximo del agregado también afecta la resistencia del concreto (Figura 4). Por ejemplo, las partículas de agregados grandes reducen la resistencia a la compresión al exhibir una alta concentración de tensión cuando se someten a cargas de compresión. Además, las partículas agregadas grandes forman zonas de transición interfaciales que exhiben más microfisuras en comparación con las partículas agregadas más pequeñas.

Figura 4

Efecto del tamaño máximo del agregado sobre la resistencia a la compresión.



Nota: Cordon y Gillespie 1963.

Aditivos químicos:

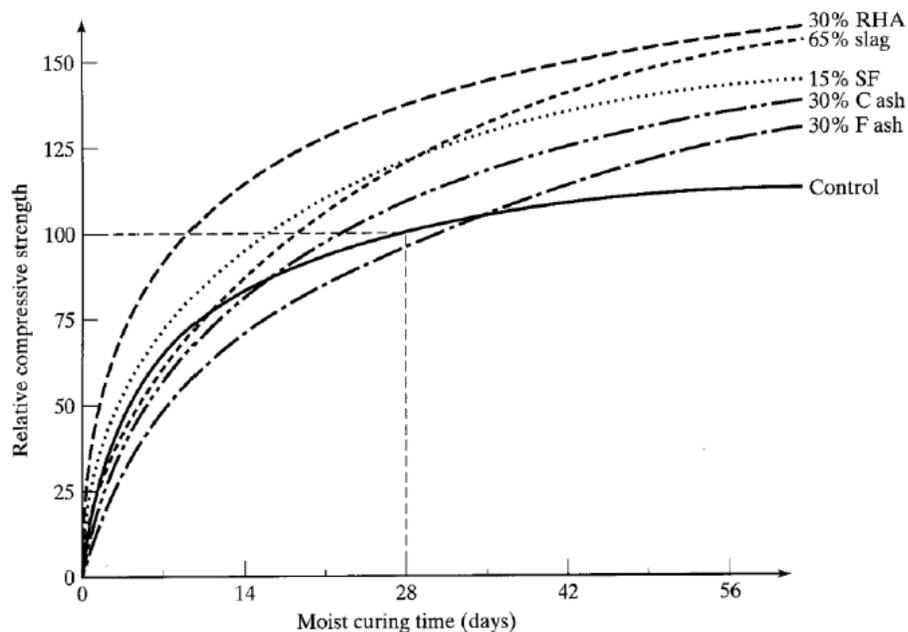
Los agentes reductores de agua pueden aumentar indirectamente la resistencia porque se reduce la relación a / c . Además, a una relación a / c dada, los aditivos reductores de agua pueden aumentar la tasa de ganancia de resistencia; sin embargo, las fortalezas finales no se ven afectadas significativamente.

Materiales cementosos suplementarios:

La adición de materiales cementosos suplementarios como humo de sílice, piedra caliza, escoria, metacaolín y cenizas volantes reduce tanto el tamaño de los poros como la porosidad, y aumenta la resistencia. Sin embargo, la química, la finura y la dosificación del material cementoso suplementario afectan el desarrollo de resistencia inicial del concreto como se presenta en la Figura 5. Por ejemplo, el humo de sílice es muy reactivo, por lo que aumenta la resistencia a la edad temprana y tardía al afectar la hidratación del cemento inmediatamente. Por el contrario, aunque las cenizas volantes de Clase F y la escoria de alto horno granulada molida aumentan la resistencia última, disminuyen la resistencia inicial hasta 28 días.

Figura 5

Relación entre la resistencia relativa a la compresión y los materiales cementantes suplementarios.



Nota: Mindess et al. 2003.

2.4.2.3 Durabilidad El Comité ACI 201 (2008) define la durabilidad del concreto como “la capacidad de resistir la acción de la intemperie, el ataque químico, la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro y conservar su forma, calidad y capacidad de servicio originales cuando se expone a su entorno”. Las condiciones ambientales, los componentes del concreto el diseño de la mezcla, la colocación y el curado determinan el grado requerido de durabilidad máxima y vida útil de los diferentes tipos de concreto. Los siguientes factores influyen en la durabilidad del concreto:

- **Contenido de agua:** La disminución del contenido de agua aumentará la durabilidad.
- **Relación agua-cemento (a / c):** Disminuir la relación a / c aumentará la durabilidad.

- **Contenido de cemento:** Para una relación a / c dada, el aumento del contenido de cemento puede disminuir la durabilidad.
- **Materiales cementantes suplementarios:** Aumentar la cantidad de materiales cementantes suplementarios generalmente aumentará la durabilidad.
- **Grado de hidratación:** Aumentar el grado de hidratación aumentará la durabilidad.
- **Edad:** la durabilidad aumenta a medida que aumenta la edad del concreto.
- **Agregados:** El uso de áridos duros, densos y fuertes libres de sílice reactiva mejorará la durabilidad.
- **Tipo de mezcla y dosificación:** un agente reductor de agua puede aumentar indirectamente la durabilidad al reducir la relación a / c y proporcionar una estructura de poros más uniforme.
- **Consolidación y curado:** La consolidación adecuada y el curado adecuado aumentarán la durabilidad.

Contenido de cemento:

Para una relación a / c dada, aumentar el contenido de cemento puede disminuir la durabilidad porque un alto contenido de cemento aumenta tanto la penetración como la contracción del cloruro. El aumento de la contracción causará grietas en el concreto que acortarán la longevidad del concreto y, por lo tanto, disminuirán su durabilidad. Se debe garantizar la durabilidad y terminación del concreto de acuerdo con los requisitos mínimos de contenido de cemento.

Relación agua-cemento:

Un parámetro importante para la durabilidad es la relación a / c , a medida que disminuye a / c , la porosidad de la pasta disminuye y el concreto se vuelve menos permeable, lo que reduce el paso de agua y compuestos agresivos como cloruros y sulfatos.

Agregados:

Aumentar el tamaño máximo del agregado aumentará la durabilidad al disminuir el contenido de pasta de cemento que estará bajo el ataque físico o químico. Sin embargo, la reducción del tamaño del agregado aumentará la durabilidad cuando el concreto se someta a condiciones de congelación-descongelación. Los agregados deben estar en mal estado para evitar el cambio de volumen al resistir un alto estrés interno cuando el agua dentro del agregado está congelada. El grado de saturación, porosidad, permeabilidad y tamaño del agregado determina este estrés. El uso de áridos duros, densos y fuertes mejorará la durabilidad al proporcionar una buena resistencia al desgaste.

Además, los agregados deben estar libres de sílice reactiva que provoca una reacción química entre el álcali de la pasta de cemento y la sílice del agregado. Debido a que la reacción álcali-sílice es muy dañina para el concreto y disminuye significativamente la durabilidad del concreto al causar grietas y manchas.

Aditivos químicos:

Los agentes reductores de agua se utilizan para disminuir la a / c de modo que reducen la porosidad del concreto y mejoran la resistencia a las sales de deshielo y las aguas ácidas. Cuando

se proporciona una estructura de poros más uniforme, la permeabilidad disminuye mientras que aumenta la durabilidad.

Materiales cementosos suplementarios:

Aumentar el contenido de materiales cementosos suplementarios generalmente aumentará la durabilidad del concreto en términos de mejorar la impermeabilidad, la resistencia al agrietamiento térmico y la expansión de agregados alcalinos. Además, el uso de materiales cementosos suplementarios en el concreto generalmente mejora la resistencia al agua sulfato, agua de mar y agua ácida al reducir el tamaño de los poros, la permeabilidad y el contenido de hidróxido de calcio del producto hidratado durante la reacción puzolánica.

2.4.3 Uso de aditivos en el concreto.

Los aditivos son los ingredientes en el concreto distintos del cemento Portland, el agua y el agregado que se agregan a la mezcla inmediatamente antes o durante la mezcla. Los productores utilizan aditivos principalmente para reducir el costo de la construcción de concreto; modificar las propiedades del concreto endurecido; para asegurar la calidad del concreto durante el mezclado, transporte, colocación y curado; y para superar ciertas emergencias durante operaciones concretas.

El uso exitoso de aditivos depende del uso de métodos apropiados de dosificación, la mayoría de los aditivos se suministran en forma líquida listos para usar y se agregan al concreto en la planta o en el lugar de trabajo. Ciertos aditivos, como pigmentos, agentes expansivos y

auxiliares de bombeo, se utilizan solo en cantidades extremadamente pequeñas y, por lo general, se preparan a mano desde recipientes medidos previamente.

La efectividad de un aditivo depende de varios factores que incluyen: tipo y cantidad de cemento, contenido de agua, tiempo de mezclado, asentamiento y temperaturas del concreto y del aire. A veces, se pueden lograr efectos similares a los que se logran mediante la adición de aditivos alterando la mezcla de concreto, reduciendo la relación agua-cemento, agregando cemento adicional, usando un tipo diferente de cemento o cambiando la gradación de agregados y agregados.

Los aditivos se clasifican según su función, y existen cinco clases distintas de aditivos químicos: incorporadores de aire, reductores de agua, retardantes, aceleradores y plastificantes (superplastificantes). Todas las demás variedades de aditivos entran en la categoría de especialidad cuyas funciones incluyen inhibición de la corrosión, reducción de la contracción, reducción de la reactividad álcali-sílice, mejora de la trabajabilidad, unión, impermeabilización y coloración. Estos aditivos se explican a detalle a continuación:

- Los aditivos incorporadores de aire, que se utilizan para colocar deliberadamente burbujas de aire microscópicas en el concreto, se analizan con más detalle en Concreto incorporado por aire.
- Los aditivos reductores de agua generalmente reducen el contenido de agua requerido para una mezcla de concreto entre un 5 y un 10 por ciento. En consecuencia, el

concreto que contiene un aditivo reductor de agua necesita menos agua para alcanzar el asentamiento requerido que el concreto sin tratar. El concreto tratado puede tener una relación a / c menor. Esto suele indicar que se puede producir un concreto de mayor resistencia sin aumentar la cantidad de cemento.

- Los aditivos retardantes, que reducen la velocidad de fraguado del concreto, se utilizan para contrarrestar el efecto acelerador del clima cálido en el fraguado del concreto. Las altas temperaturas a menudo provocan una mayor velocidad de endurecimiento, lo que dificulta la colocación y el acabado. Los retardantes mantienen el concreto trabajable durante la colocación y retrasan el fraguado inicial del concreto. La mayoría de los retardantes también funcionan como reductores de agua y pueden incorporar algo de aire en el concreto.
- Los aditivos acelerantes aumentan la tasa de desarrollo temprano de la resistencia, reducen el tiempo requerido para el curado y aceleran el inicio de las operaciones de acabado. Los aditivos acelerantes son especialmente útiles para modificar las propiedades del concreto en climas fríos.
- Los superplastificantes, también conocidos como plastificantes o reductores de agua de alto rango, reducen el contenido de agua entre un 12 y un 30 por ciento y se pueden agregar al concreto con un asentamiento bajo a normal para hacer que el concreto fluya de alto asentamiento. El concreto fluido es un concreto altamente fluido pero trabajable que se puede colocar con poca o ninguna vibración o compactación. El efecto de los

superplastificantes dura solo de 30 a 60 minutos, dependiendo de la marca y la tasa de dosificación, y es seguido por una rápida pérdida de trabajabilidad. Como resultado de la pérdida por asentamiento, generalmente se agregan superplastificantes al concreto en el lugar de trabajo.

- Los aditivos inhibidores de la corrosión se incluyen en la categoría de aditivos especiales y se utilizan para retardar la corrosión del acero de refuerzo en el concreto. Los inhibidores de corrosión se pueden usar como estrategia defensiva para estructuras de concreto, como instalaciones marinas, puentes de carreteras y estacionamientos, que estarán expuestos a altas concentraciones de cloruro. Otros aditivos especiales incluyen aditivos reductores de la contracción e inhibidores de la reactividad álcali-sílice. Los reductores de contracción se utilizan para controlar la contracción por secado y minimizar el agrietamiento, mientras que los inhibidores de ASR controlan los problemas de durabilidad asociados con la reactividad álcali-sílice.

2.5 Marco legal

Para la realización de este proyecto de grado es necesario contar con los permisos para el uso del laboratorio de suelos y pavimentos y el laboratorio de Materiales de la universidad francisco de paula Santander Ocaña para hacer los respectivos ensayos de los agregados y obtener los resultados, de igual forma se deben cumplir con los requisitos presentes en el reglamento técnico colombiano NSR-10 que establece que los ensayos de materiales y del concreto deben seguir los lineamientos de la Norma técnica colombiana NTC, cuya función es

brindar soporte y desarrollo a los productos y protección al consumidor y tiene certificación ICONTEC, estas también están respaldadas por las normas de la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM). Para tal propósito se debe cumplir las siguientes normas:

NTC 673 (ASTM C39). Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

NTC 4025 (ASTM C469). Concretos. Método de ensayo para determinar el módulo de Elasticidad estático y la relación de Poisson en concreto a Compresión.

NTC 2871 (ASTM C78). Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios).

NTC 174 (ASTM C33) Concretos. Especificaciones de los agregados para concreto

NTC 30. Cemento Portland. Clasificación y nomenclatura.

NTC 396(ASTM C143). Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto.

NTC 504(ASTM C617). Refrentado de especímenes cilíndricos de concreto.

NTC 722 (ASTM C496). Ensayo de tracción indirecta de cilindros de concreto.

NTC 1377 (ASTM C192). Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayo laboratorio.

NTC 221 (ASTM C88) cementos. Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico.

NTC 77 (ASTM D136) concretos. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos.

NTC 176 (ASTM C127). Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso.

NTC 92 (ASTM C29M-91a). Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados.

NTC 589. Concretos. Método de ensayo para determinar el porcentaje de terrones de arcilla y partículas deleznales en los agregados.

NTC 1176 (ASTM C566-89). Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados.

NTC 98 (ASTM C131). Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste por abrasión e impacto de agregados gruesos menor de 37,5 mm, utilizando la máquina de los ángeles.

Capítulo 3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación que se utilizara en este proyecto será de tipo cuantitativo con un enfoque experimental, con lo cual se analizara la influencia que tiene la incorporación de la melaza de caña de azúcar en las mezclas de concreto. Para ello se llevarán a cabo ensayos de laboratorio que permitirán medir la influencia de la variable analizada, en este caso la dosificación de melaza, con respecto a la trabajabilidad y tiempo de fraguado de las mezclas de concreto.

El diseño del experimento para responder a la problemática planteada consiste en dosificaciones de 0%, 0.2%, 0.4%, 0.6% 0.8% y 1.0% de melaza de caña de azúcar de tipo comercial, con las cuales se evaluarán los componentes físicos y mecánicos del concreto, a fin de determinar la dosificación optima de este material para ser usado como aditivo retardante y plastificante. Para la prueba de asentamiento el número de ensayos para las 6 dosificaciones, más 1 con aditivos convencional es de 6, realizando dos a los 0 Min, 30 Min y 60 Min, para un total de 21 ensayos. Para el caso de la resistencia mecánica, se desarrollaron un total de 97 ensayos, un promedio de 5 probetas por las edades de 7, 14 y 28 días, para las 6 dosificaciones y 1 con aditivo convencional.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población. La población que se ha determinado para este estudio corresponde a las posibles dosificaciones de melaza como aditivo a las mezclas de concreto, teniendo como edades para los ensayos de resistencia los 7, 14 y 28 días de curado.

3.2.2 Muestra. La muestra correspondiente a la investigación se compone de las dosificaciones que de 0%, 0.2%, 0.4%, 0.6% 0.8% y 1.0% de melaza, con las cuales se tiene un amplio espectro de variación para medir la influencia de este material como aditivo en las mezclas de concreto.

3.3 Diseño de instrumentos de recolección de la información y técnicas de análisis de datos

Las técnicas de recolección de información empleadas para desarrollar la investigación, corresponden a las descritas en las Normas Técnicas Colombianas (NTC), las normas americanas (ASTM) y la Norma sismoresistente colombiana (NSR-10) adicionalmente se plantean las siguientes técnicas:

- Búsqueda y recopilación de documentación e investigaciones relacionadas
- Ensayos de Laboratorio
- Registro fotográfico
- Análisis estadísticos

3.4 Análisis de la información

Para el análisis de la información se plantea el uso de herramientas y métodos de análisis de datos, los cuales permitan analizar el conjunto de resultados de laboratorios obtenidos, y a partir de allí definir el comportamiento que tienen las variables analizadas. Así mismo, para la investigación se han planteado un conjunto de etapas que permitirán un mejor análisis y comprensión del desarrollo metodológico que se ha planteado.

Etapa 1: Inicialmente se plantea la recopilación de información, recurriendo a bases bibliográficas y repositorios para establecer los diferentes fundamentos teóricos necesarios para el desarrollo del proyecto.

Etapa 2: Posteriormente se realizará una caracterización de las materias primas del proyecto, estableciendo las características de la melaza, el cemento y los agregados a emplear. Así mismo, en esta etapa se definirán los porcentajes que se emplearán de melaza como aditivo del concreto.

Etapa 3: En esta etapa se dará paso a la realización de ensayos de laboratorio, mediante los cuales podrán establecer las características físicas y mecánicas del concreto con melaza de caña de azúcar incorporada como agente retardante y plastificante. Adicionalmente en esta etapa se desarrollarán los ensayos de Microscopio de Barrido electrónico (SEM).

Etapa 4: Una vez se obtengan los resultados de laboratorio, se procederá al análisis de datos, mediante técnicas estadísticas y análisis numéricos que permitan identificar la dosificación óptima de la melaza para ser incorporada en las mezclas de concreto.

Etapa 5. Finalmente, en la última etapa, una vez definido el porcentaje de incorporación de melaza se realizará un análisis de costos para la implementación de la alternativa propuesta, comparando la melaza comercial respecto a los aditivos comerciales.

3.5 Presupuesto del proyecto

El presupuesto ejecutado para este proyecto se detalla a continuación.

CONCEPTO	COSTO	RECURSOS		FECHA	OBSERVACION
		PROPIOS	UNIVERSIDAD		
Inversión para la compra del material, solo triturado y arena, incluye el transporte. (MATERIAL: \$ 230.000, TRANSPORTE: \$ 150.000)	\$ 380.000	X		12/07/2021	NINGUNA
Compra de 1 cono de Abraham color naranja metalico con varilla apisonadora	\$ 100.000	X		1/07/2021	Planta de Concreto Pueblo Bello
Alquiler por 5 días de 30 moldes 4*8"	\$ 300.000	X		24/09/2021, 5/10/2021- 8/10/2021	Geocimientos S.A.S
Alquiler de 1 cono de Abraham extra	\$ 20.000	X		5/10/2021- 8/10/2021	Geocimientos S.A.S
Alquiler de Trompo Mezclador 1/2 Bulto X 5 días	\$ 175.000	X		24/09/2021, 5/10/2021- 8/10/2021	GINCO SAS Ingenieria y Consultoria S.A.S.

Compra de 5 Pacas de CEMENTO argos de uso general de 50 kg	\$ 125.000	X	24/09/2021, 5/10/2021-8/10/2021	Construcciones y Suministros TANTTAN
Compra de 4 dados de agua de 1000 litros	\$ 80.000	X	24/09/2021, 5/10/2021-8/10/2021	Para Agua de mezclado, Para la pileta de curado y para lavar el sitio de trabajo, herramientas, trompo y demas.
Pago de Transporte del trompo (Ida y vuelta)	\$ 60.000	X	24/09/2021, 5/10/2021-8/10/2021	Se hicieron 4 viajes
Pago Flete Traida de Olla de masa Unitaria (Bogota-Aguachica)	\$ 30.000	X	15/09/2021	SERVIENTREGA
Aditivo HR-DM	\$ 32.400	X	8/09/2021	Construcciones y Suministros TANTTAN
Melaza	\$ 20.000	X	31/08/2021	NINGUNA
1 paca de Cal	\$ 10.000	X	22/09/2021	Ferreteria Quintero La Gran Esquina S A S
1 olla para toma de masa Unitaria de Concreto Fresco-Cap: 14,1 Lts	\$ 304.000	X	11/09/2021	METROTEST LTDA
Vidrio para enrazar (Masa Unitaria) de espesor: 10 mm y medidas (40X40)	\$ 40.000	X	21/09/2021	Vidrieria Y Marqueteria Tecniaaluminios
Termómetro Digital Con Punzón	\$ 30.000	X	10/09/2021	MERCADOLIBRE
4 Valdes de 20 litros para pesaje	\$ 44.000	X	6/09/2021	Paintugrant Vinilo
1 varilla apisonadora 1/2	\$ 28.000	X	21/09/2021	NINGUNA
Costo de ensayos de laboratorio	\$ 386.000	X	24/08/2021	Geocimientos S.A.S
ACPM para desencofrar	\$ 7.000	X	24/09/2021	E.D.S. PETROMIL
Arreglo Calibración de la báscula de 300 gr.	\$ 30.000	X	21/09/2021	El Punto de la Bascula
Marcador Sharpie Negro	\$ 3.000	X	24/09/2021	Papeleria Caribe
Diseño de Mezclas por Geocimientos Aguachica	\$ 150.000	X	14/09/2021	Geocimientos S.A.S
Fallada de 97 Probetas de Concreto 4*8"	\$ 485.000	X	01/10/2021, 12/10/2021-15/10/2021, 19/10/2021-22/10/2021, 2/11/2021-5/11/2021	Laboratorio Materia Gris Aguachica

Enviada de Cilindros para ensayo SEM en Medellin	\$ 30.000	X	9/11/2021	COPETRAN
2 Guantes para dotación personal	\$ 8.000	X	24/09/2021	Construcciones y Suministros TANTTAN
1 Martillo de Goma Para Olla Masa Unitaria	\$ 14.000	X	4/09/2021	Cacharrería la fortuna
1 CUCHARON	\$ 8.000	X	4/09/2021	Cacharrería la fortuna
1 Martillo de Goma Para Compactación de Cilindros	\$ 7.000	X	4/09/2021	Cacharrería la fortuna
1 Recipiente mediano (1500 ML)	\$ 6.000	X	4/09/2021	Cacharrería la fortuna
1 Recipiente pequeño (500 ML)	\$ 6.000	X	4/09/2021	Cacharrería la fortuna
Gasolina	\$ 4.000	X	24/09/2021	E.D.S. PETROMIL
12 SACOS	\$ 6.000	X	6/08/2021	NINGUNA
1 LIJA 80	\$ 1.200	X	6/08/2021	Ferretería Quintero La Gran Esquina S A S
6 Mts de plástico negro	\$ 7.500	X	6/08/2021	Ferretería Quintero La Gran Esquina S A S
Alquiler de Basculas de 100 kg y 30 Kg	\$ 60.000	X	24/09/2021, 5/10/2021-8/10/2021	El Punto de la Bascula
Transporte Ocaña-Aguachica por parte de Juan diego para realizar ensayos	\$ 60.000	X	24/09/2021, 5/10/2021-8/10/2021	Cooperativa de Transportadores Hacaritama
Pago media jornada para guardar el material	\$ 25.000	X	22/09/2021	NINGUNA
Leña para secar Material	\$ 15.000	X	22/09/2021	NINGUNA
3 paquete de Bolsas de Basura 65x90, 20 UND.	\$ 7.000	X	22/09/2021	D1 Aguachica
Hidratación	\$ 33.000	X	22/09/2021, 24/09/2021, 5/10/2021-8/10/2021	NINGUNA
Diseño de Mezclas por Materia Gris Aguachica	\$ 100.000	X	12/09/2021	Laboratorio Materia Gris Aguachica
Alquiler de Palas y carreta	\$ 40.000	X	24/09/2021, 5/10/2021-8/10/2021	ALQUILERES LA 27
VALOR TOTAL				\$ 3.277.100

Adicionalmente los detalles de los costos de los ensayos realizados corresponden a:

ENSAYO	COSTO
Masa Unitaria	\$ 80.000
Pesos Específicos	\$ 126.000
Granulometrías	\$90.000
Materia Organiza A.F	\$60.000
Humedades	\$ 30.000
Total	\$ 386.000
Nota: Los precios no incluyen IVA	

Capítulo 4. Resultados

4.1. Realizar la caracterización de las materias primas de la mezcla de concreto, como el cemento, los agregados finos y gruesos y la melaza.

Para el desarrollo de esta investigación, inicialmente se realizó una caracterización de los materiales que servirán de materia prima para el desarrollo metodológico del proyecto. El cemento y los agregados empleados, así como el plastificante y la melaza son productos comerciales disponibles en la ciudad de Ocaña, a continuación, se describen las características particulares de cada material.

4.1.1. Cemento

El cemento utilizado durante los ensayos de laboratorio fue cemento Portland de uso general (UGC) de la empresa Argos. En la tabla 2 se indican los parámetros físicos y resistencia mínima de este material. Adicionalmente se desarrollaron ensayos de laboratorio para determinar la gravedad específica y la densidad bulk suelta, que para el material empleado corresponde a 3,08 g/cm³ y 1150 kg/m³ respectivamente.

Tabla 2

Los principales componentes químicos del cemento Portland

PARÁMETROS FÍSICOS		NORMA DE ENSAYO	NTC 121 TIPO UG
Finura	Blaine, min. (cm ² /gr)	NTC 33	A
	Retenido Tamiz 45 μm	NTC294	A
Cambio de longitud por autoclave, expansión máx. (%)		NTC 107	0.8
Tiempo de fraguado, Ensayo de Vicat ^B	No menos de, minutos	NTC 118	45
	No más de, minutos	NTC118	420

Contenido de aire en volumen de mortero, máx. (%)	NTC 224	12
Expansión de barras de mortero a 14 días, máx.	NTC 4927	0.02
RESISTENCIA MÍNIMA A LA COMPRESIÓN (MPa)		
3 días	NTC 220	8.0
7 días	NTC 220	15.0
28 días	NTC 220	24.0

4.1.2. Agregados

Los agregados finos y gruesos utilizados fueron agregados naturales lavados obtenidos de la planta trituradora A&G E.U Ubicada en Curumani – Cesar. Inicialmente se desarrollaron los ensayos correspondientes para la determinación de la masa unitaria suelta y la masa unitaria compacta del agregado grueso, como se indica en la figura 6, cuyos resultados se resumen en las tablas 3 y 4.

Figura 6

Ensayo para determinar la masa unitaria de la grava



Tabla 3

Masa unitaria suelta agregado grueso

N° Ensayo	Peso del Material (g)	Volumen (cm3)	Masa unitaria (g/cm³)
1	7073	49976,9	1,421
2	7109	4976,9	1,428
3	7087	4976,9	1,424
Promedio			1,425

Tabla 4

Masa unitaria compacta agregado grueso

N° Ensayo	Peso del Material (g)	Volumen (cm3)	Masa unitaria (g/cm³)
1	7694	4976,9	1,600
2	8053	4976,9	1,618
3	8020	4976,9	1,611
Promedio			1,610

A partir de los resultados se observa que para agregado grueso los valores de masa unitaria suelta y compacta corresponden a 1,425 g/cm³ y 1,610 g/cm³ respectivamente.

Adicionalmente también se desarrollaron ensayos para determinar el peso específico del agregado grueso, obteniendo los resultados descritos en la tabla 5.

Tabla 5
Peso Específico agregado grueso

Pruebas	1	2	Promedio
Peso en el aire muestra seca, A (g)	1572,5	1599,3	1585,90
Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca, B (g)	1596,8	1622,2	1609,50
Peso sumergido de la muestra saturada superficialmente seca, C (g)	999,0	1016,0	1007,50
B-C	597,8	606,2	602,00
A-C	573,5	583,3	570,40
B-A	24,3	22,9	23,60
Peso específico BULK (g/cm ³)	2,630	2,638	2,63
Peso específico BULK SSS (g/cm ³)	2,671	2,676	2,67
Peso específico aparente (g/cm ³)	2,742	2,742	2,74
Absorción (%)	1,55	1,43	1,49

Así mismo, para el agregado fino también se desarrollaron las pruebas necesarias para su caracterización, como se aprecia en la figura 7 se desarrolló el ensayo de Masa unitaria suelta y compacta respectivamente, cuyos resultados se indican en las tablas 6 y 7.

Figura 7

Ensayos para determinar la masa unitaria de la Arena



Tabla 6

Masa unitaria suelta agregado fino

N° Ensayo	Peso del Material (g)	Volumen (cm³)	Masa unitaria (g/cm³)
1	6840,0	4976,9	1,374
2	6697,0	4976,9	1,346
3	6427,0	4976,9	1,291
Promedio			1,337

Tabla 7
Masa unitaria compacta agregado fino

N° Ensayo	Peso del Material (g)	Volumen (cm³)	Masa unitaria (g/cm³)
1	7514,0	4976,9	1,510
2	7376,0	4976,9	1,482
3	7508,0	4976,9	1,509
Promedio			1,500

A partir de los resultados se observa que para agregado fino los valores de masa unitaria suelta y compacta corresponden a 1,337 g/cm³ y 1,500 g/cm³ respectivamente. Adicionalmente también se desarrollaron ensayos para determinar el peso específico del agregado fino, obteniendo los resultados descritos en la tabla 8.

Tabla 8
Peso Específico agregado fino

Pruebas	1	2	Promedio
A, GMS	488,6	491,2	489,91
V, C.C.	500	500	500,00
W, C.C.	301,5	308,2	304,85
V – W	198,5	191,8	195,15

500 – A	11,4	8,8	10,09
$(V - W) - (500 - A)$	187,1	183,0	185,06
GS, BULK = $(A) / (V - W)$	2,46	2,56	2,51
GS, BULK SSS = $(500) / (V - W)$	2,52	2,61	2,56
GS, APARENTE = $(A) / ((V - W) - (500 - A))$	2,61	2,68	2,65
Absorción (%)	2,33	1,79	2,06

Finalmente, para la caracterización de los agregados se desarrolló el análisis granulométrico del material (Grueso y fino) como se indica en la figura 8. Los resultados obtenidos se describen en las tablas 9 y 10, a partir de los cuales se elaboraron las curvas granulométrías de las figuras 9 y 10.

Figura 8

Ensayo de Granulometría a los agregados



Tabla 9
Granulometría agregado grueso

TAMIZ (pulg)	ABERTURA (mm)	Peso del Suelo Ret. (grs.)	Peso del suelo Ret Corregido. (grs.)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
2 1/2"	63,0	0,0	0,0	0,0%	0,0%	100,0%
2"	50,0	0,0	0,0	0,0%	0,0%	100,0%
1 1/2"	37,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	100,0%
1"	25,0	0,0	0,0	0,0%	0,0%	100,0%
3/4"	19,0	0,0	0,0	0,0%	0,0%	100,0%
1/2"	12,5	846,0	846,0	33,7%	33,7%	66,3%
3/8"	9,5	1038,2	1038,2	41,4%	75,1%	24,9%
#4	4,8	545,9	545,9	21,8%	96,9%	3,1%
#8	2,4	10,5	10,5	0,4%	97,3%	2,7%
#16	1,2	0,0	0,0	0,0%	97,3%	2,7%
#30	0,6	0,0	0,0	0,0%	97,3%	2,7%
#50	0,3	0,0	0,0	0,0%	97,3%	2,7%
#100	0,1	0,0	0,0	0,0%	97,3%	2,7%
FONDO		10,3	67,1	2,7%	100,0%	0,0%
TOTAL MUESTRA (gr)				2507,7		

Tabla 10
Granulometría agregado fino

TAMIZ (pulg)	ABERTURA (mm)	Peso del Suelo Ret. (grs.)	Peso del suelo Ret Corregido. (grs.)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
2 1/2"	63,0	0,0	0,0	0,0%	0,0%	100,0%
2"	50,0	0,0	0,0	0,0%	0,0%	100,0%
1 1/2"	37,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	100,0%
1"	25,0	0,0	0,0	0,0%	0,0%	100,0%
3/4"	19,0	0,0	0,0	0,0%	0,0%	100,0%
1/2"	12,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	100,0%
3/8"	9,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	100,0%
#4	4,8	74,9	74,9	4,8%	4,8%	95,2%
#8	2,4	110,8	110,8	7,0%	11,8%	88,2%
#16	1,2	231,3	231,3	14,7%	26,5%	73,5%
#30	0,6	529,9	529,9	33,7%	60,2%	39,8%
#50	0,3	489,0	489,0	31,1%	91,3%	8,8%
#100	0,1	114,2	114,2	7,3%	98,6%	1,5%
FONDO		18,7	24,1	1,5%	100%	0,0%
TOTAL MUESTRA (gr)				1574,2		

Figura 9

Curva granulométrica del agregado grueso

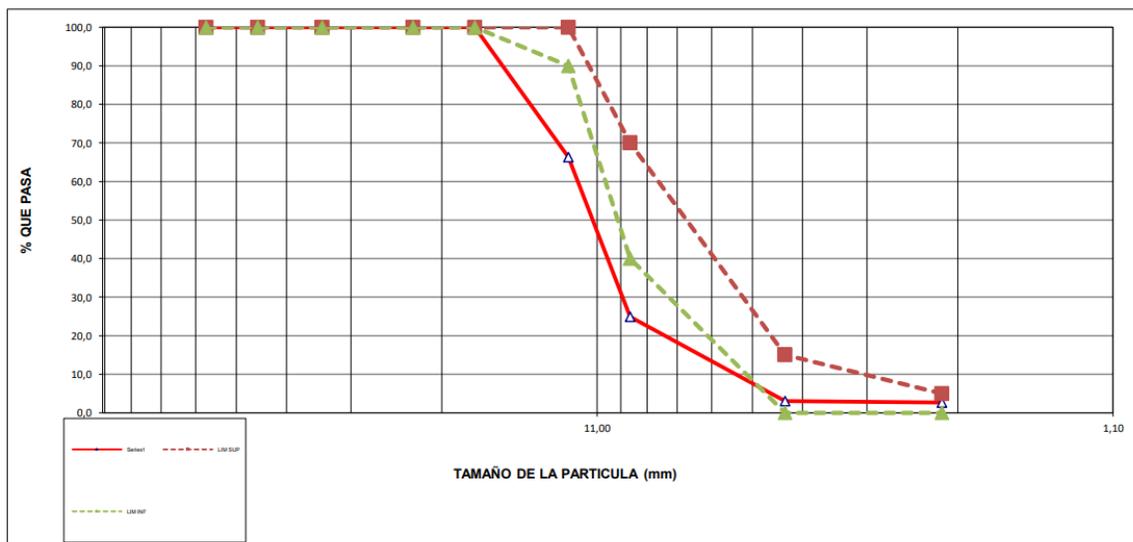
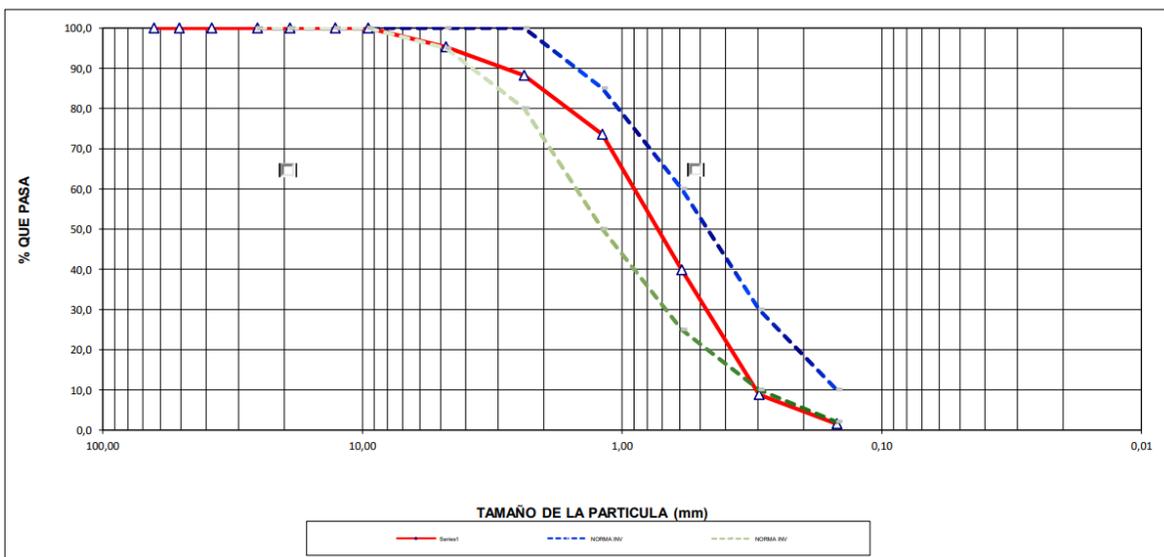


Figura 10

Curva granulométrica del agregado fino



4.1.3. Melaza

La melaza empleada para el desarrollo de los ensayos corresponde a una melaza de uso común como se aprecia en la figura 11, su designación comercial y componentes principales se enumeran en la tabla 11. Esta mezcla es producto del proceso de elaboración del azúcar, el jugo extraído de la caña de azúcar o de la remolacha azucarera se hierve hasta que los azúcares se cristalizan y precipitan. El jarabe que queda después de la cristalización se denomina melaza. Por lo general, el jugo de caña de azúcar se somete a tres ciclos de ebullición y cristalización para extraer la mayor cantidad de azúcar posible. Con cada ciclo sucesivo, la melaza sobrante contiene menos azúcar. La melaza puede variar en color, dulzura y contenido nutricional según la variedad o la cantidad de azúcar que se haya extraído.

Figura 11

Melaza empleada en el proyecto

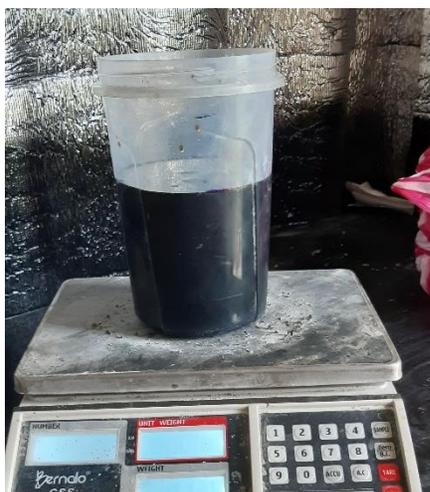


Tabla 11
Componentes y propiedades de la melaza

Color	Marrón oscuro
Estado	Líquido
Gravedad Específica	1.4 g/cm ³
pH	5.0
Humedad	26% (a 110°C)
Ceniza	12.30% (por calcinación 550°C)
Materia Orgánica	61.7% (por calcinación 550°C)
Extracto Húmico total	56.5%
Nitrógeno Total	1.3%
Fosforo Total	0.5%
Potasio Total	4.0%

Nota: Otunyo y Koate (2015)

4.2. Determinar la variación del comportamiento físico y mecánico en laboratorio de mezclas de concreto con melaza adicionada en dosificaciones del 0% al 1%.

Para determinar la incidencia de la melaza en las mezclas de concreto inicialmente fue necesario consolidar un estado del arte para determinar las experiencias previas en el desarrollo de proyectos de similar denominación, y se encontraron trabajos como los publicados por Akar y Canbaz (2016), Jumadurdiyev et. al (2005) y Yildirim y Altun (2012). Estas investigaciones permitieron determinar que el concreto muestra un mejoramiento significativo en la fluidez sin afectar la resistencia en dosificaciones entre el 0% y 1%. Por esta razón se consideró pertinente

mantener un intervalo de 0,2% entre dosificaciones iniciando en 0,2%, 0,4%, 0,6%, 0,8% y 1,0%, con respecto al peso.

4.2.1. *Diseño de mezclas*

Inicialmente se desarrolló el diseño de mezclas correspondiente a cada una de las dosificaciones planteadas, iniciando por la mezcla convencional, es decir sin la incorporación de la melaza. Se plantearon dos diseños uno por el método del ACI y otro por el método gráfico. En las tablas 12 y 13 se indican los resultados de estos diseños.

Tabla 12
Resultados del diseño por método ACI

	Agua	Cemento	Arena	Grava	Totales
Peso de los agregados (kg/m ³)	200	340	1056.3	796.9	2393.3
Proporción en peso seco de agregados	0.59	1	3.1	2.3	
Proporción en Volumen suelto de agregados	0.59	1	2.7	1.9	

Tabla 13
Resultados del diseño por método grafico

Descripción	Valor
Volumen sin agregados (lt)	320,1
Volumen de agregado Fino (lt)	326,3
Volumen de agregado Grueso (lt)	353,5
Volumen del Cemento (lt)	121,11
Volumen de agregados(lt)	679,9
Densidad ponderada (agre)	2,70
Peso total de los agregados (kg)	1833
Comprobacion Peso de agregados (kg)	1833
Agua absorbida arena	17,8
Agua absorbida grava (1 1/2")	14,4
peso total de la masa cementante (kg)	369
masa unitaria suelta de la arena	863
masa unitaria suelta del triturado de 3/4"	969
cantidad de agua	199

Estos datos fueron verificados en laboratorio para verificar la exactitud de cada diseño, teniendo como criterio de evaluación el asentamiento seleccionado, y se observó que el método grafico fue el que tuvo mejores resultados, por ende, las demás dosificaciones se calcularon empleando dicho método. En el apéndice A se indica el diseño por el método ACI, y en el Apéndice B los diseños por el método gráfico.

4.2.2. Propiedades Físicas

El análisis de las propiedades físicas analizadas para el concreto, y que se ven influenciadas por la incorporación de la melaza, corresponde a la trabajabilidad medida mediante el asentamiento del material, el cual es una propiedad que describe la facilidad con la que se

puede mezclar, colocar y consolidar el concreto recién mezclado con una pérdida mínima de homogeneidad. La trabajabilidad es una propiedad que afecta directamente la resistencia, la calidad, la apariencia e incluso el costo de la mano de obra para las operaciones de colocación y acabado.

Las proporciones y características de los materiales y las propiedades de los aditivos tienen un impacto en la trabajabilidad y otras cualidades de cada diseño de mezcla de concreto.

Los factores que afectan la trabajabilidad incluyen:

- **Relación agua/cemento:** una mayor proporción de cemento o materiales cementicios generalmente significa una mayor resistencia, y con la cantidad adecuada de agua, más pasta está recubriendo la superficie de los agregados para una consolidación más fácil y un mejor acabado. La falta de agua para una hidratación adecuada significa un desarrollo deficiente de la fuerza y una mezcla poco cooperativa que se resiste a una fácil colocación y acabado. Se podría decir que agregar agua en exceso aumenta la trabajabilidad porque facilita la colocación y la consolidación. Sin embargo, el impacto negativo sobre la segregación, las operaciones de acabado y la resistencia final puede ser tan perjudicial que debe abordarse con mucha cautela. Una proporción de agua a material cementoso (w/cm) de 0,45 a 0,6 es el punto óptimo para la producción de concreto trabajable.

- **Tamaño y forma del agregado:** A medida que aumenta el área de la superficie del agregado, se necesita más pasta de cemento para cubrir toda la superficie de los agregados. Por lo tanto, las mezclas con agregados más pequeños son menos trabajables en comparación con los agregados de mayor tamaño. Los agregados alargados, angulares y escamosos son difíciles de mezclar y colocar y tienen un área de superficie mayor para cubrir, lo que reduce la trabajabilidad. Los agregados redondeados tienen un área de superficie más baja, pero carecen de la angularidad para desarrollar suficientes fuerzas de unión con la pasta de cemento. El árido triturado en las proporciones adecuadas proporciona una mejor unión con la matriz de cemento y una adecuada trabajabilidad.
- **Aditivos:** muchos tipos de aditivos alteran la trabajabilidad del concreto fresco, ya sea por diseño o como un efecto secundario. Los tensioactivos como los superplastificantes reducen la atracción entre el cemento y las partículas de agregado, lo que permite mezclas que pueden fluir bastante sin la resistencia negativa y los efectos de segregación del exceso de agua. Los aditivos inclusores de aire para durabilidad de congelación/descongelación producen burbujas de aire dentro de un tamaño controlado que puede facilitar el acabado, aunque usar demasiado produce una mezcla pegajosa con el efecto contrario.

En este orden de ideas, la melaza como se ha podido evidenciar en los trabajos desarrollados por Akar y Canbaz (2016), Jumadurdiyev et. al (2005) y Yildirim y Altun (2012),

mejora la trabajabilidad de concreto, y para las dosificaciones planteadas del 0% al 1% se desarrolló el ensayo correspondiente a la NTC 396 la cual establece el método para determinar el asentamiento del concreto de cemento hidráulico en la obra y en el laboratorio. Este ensayo consiste básicamente en colocar una muestra de concreto en un molde troncocónico la cual es compactada mediante una varilla (Figura 12). Posteriormente el molde es levantado, permitiendo que el concreto se asiente, posteriormente se mide la distancia vertical entre la posición inicial y la desplazada del centro de la superficie superior del concreto y se informa como el asentamiento del concreto (Figura 13).

Figura 12

Compactación con varilla de la muestra



Figura 13

Retiro del cono y medición del asentamiento



En la tabla 14 se indican las muestras preparadas para el ensayo, junto con la hora de preparación y finalización, así como el peso unitario para cada uno de ellos. Estas muestras se prepararon para la elaboración de los cilindros de concreto, y de allí se extrajo una porción para la realización del ensayo. Adicionalmente en la tabla 15 se indican los resultados de los ensayos de asentamientos realizados, se distinguen dos tipos de conos, Naranja y Gris, que son los conos disponibles para el desarrollo de los ensayos.

Tabla 14
Información del ensayo de asentamiento

Muestra	Fecha	Hora inicio	Hora finalización	Peso unitario (kg/m ³)
Concreto sin inclusión de melaza ni aditivo	05/10/2021	7:17 p.m.	7:47 p.m.	2351,8
Concreto con inclusión de melaza del 0,2%	06/10/2021	10:16 a.m.	10:50 a.m.	2376,93
Concreto con inclusión de melaza del 0,4%	06/10/2021	4:45 p.m.	5:50 p.m.	2376,93
Concreto con inclusión de melaza del 0,6%	07/10/2021	10:35 a.m.	11:10 a.m.	2358,98
Concreto con inclusión de melaza del 0,8%	07/10/2021	4:05 p.m.	4:35 p.m.	2373,34
Concreto con inclusión de melaza del 1,0%	08/10/2021	3:13 p.m.	3:50 p.m.	2384,12
Concreto con aditivo PLASTOL HR DM	08/10/2021	5:06 p.m.	6:15 p.m.	2366,16

Tabla 15
Resultados de la prueba de asentamiento

Muestra	Asentamiento siguiente al mezclado		Asentamiento a los 30 min		Asentamiento a los 60 min	
	Cono Naranja	Cono Gris	Cono Naranja	Cono Gris	Cono Naranja	Cono Gris
Concreto sin inclusión de melaza ni aditivo	4" (10cm)	4" (10cm)	2" (5cm)	2" (5cm)	No registra	No registra
Concreto con inclusión de melaza del 0,2%	3 1/2" (9cm)	3 1/2" (9cm)	2" (5 cm)	2" (5 cm)	No registra	No registra
Concreto con inclusión de melaza del 0,4%	5 1/2" (14 cm)	4" (10 cm)	1 1/2.5" (3,56 cm)	1 1/2" (3,8 cm)	1 1/4" (3,2 cm)	1 1/2" (3,8 cm)
Concreto con inclusión de melaza del 0,6%	3 1/2.5" (8,6 cm)	3 1/2.5" (8,6 cm)	1/2" (1,25 cm)	3/4" (2 cm)	No registra	No registra
Concreto con inclusión de melaza del 0,8%	3 3/4" (9,6 cm)	3 1/2" (9,0 cm)	1/4" (0,6 cm)	No registra	No registra	No registra
Concreto con inclusión de melaza del 1,0%	6 1/3" (16 cm)	6" (15,5 cm)	1" (2,54 cm)	1" (2,54 cm)	No registra	No registra
Concreto con aditivo PLASTOL HR DM	8" (20,3 cm)	7 1/2" (19 cm)	8 1/4" (21 cm)	6 1/2" (17 cm)	7 1/1.5" (19,5 cm)	8" (20,3 cm)

A partir de los datos obtenidos, se desarrollaron como se indica en las figuras 14 y 15, unas graficas que permiten identificar en función de la dosificación, aquellas mezclas que presentan

un mayor asentamiento, aquí también se incluye el diseño de una mezcla con incorporación de un plastificante comercial, en este caso PLASTOL HR DM.

Figura 14

Resultados de asentamiento cono Naranja

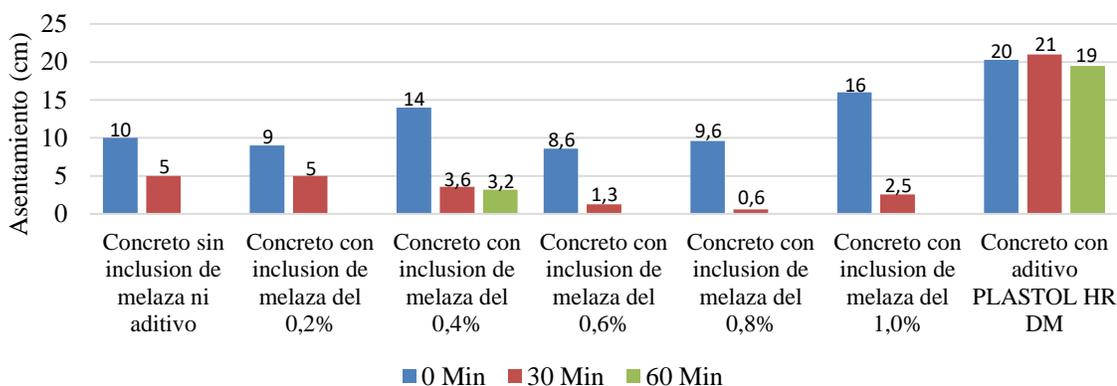
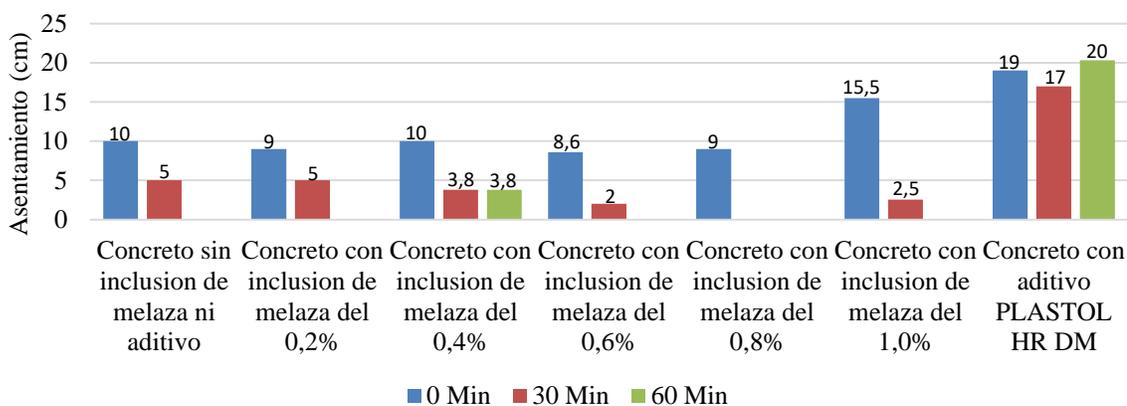


Figura 15

Resultados de asentamiento cono Gris



Es evidente que el uso del plastificante de uso comercial proporciona una mayor trabajabilidad sobre la mezcla de concreto que se mantiene transcurrido un tiempo de 30 y 60

min. No obstante, en las dosificaciones del 0.4% y 1% de melaza se logran resultados similares luego del proceso de mezclado, aunque no se conservan más allá de los 30 min.

4.2.3. Propiedades Mecánicas

Con respecto a las propiedades mecánicas del material se midió la resistencia mecánica del concreto a través de cilindros de concreto, siguiendo la norma NTC 673 es determinar la resistencia a la compresión de especímenes de concreto, aplicando una carga axial de compresión a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla. Y la resistencia se calcula al dividir la carga máxima alcanzada durante el ensayo entre la sección transversal del espécimen.

En este sentido, siguiendo las especificaciones de la norma, se desarrolló el ensayo a las cuatro probetas de las dosificaciones del 0.0% 0.2% 0.4% 0.6% 0.8% 1.0% y mezcla con aditivo. Estas probetas se ensayaron a 7, 14 y 28 días, los resultados obtenidos se describen en las tablas 16 a 37.

Figura 16

Elaboración de cilindros de concreto

Figura 17

Aplicación de carga uniaxial de compresión

Tabla 16
Ensayo de compresión probetas sin melaza – 7 días

Probeta	Fundida	Fallada	Edad de la Muestra	Peso (kg)	F (kN)	f'c (Mpa)	f'c (psi)	f'c admitido de diseño (psi)	Criterio de Cumplimiento SI/NO
P0-1	5/10/2021	12/10/2021	7	3,784	120,0	15,28	2216,18	2100,0	SI
P0-2	5/10/2021	12/10/2021	7	3,618	111,0	14,13	2049,39	2100,0	NO
P0-3	5/10/2021	12/10/2021	7	3,852	136,0	17,32	2512,06	2100,0	SI
P0-4	5/10/2021	12/10/2021	7	3,816	130,0	16,55	2400,38	2100,0	SI
PROM 7 DIAS							2294,50		

Tabla 17
Ensayo de compresión probetas melaza 0,2% – 7 días

Probeta	Fundida	Fallada	Edad de la Muestra	Peso (kg)	F (kN)	f'c (Mpa)	f'c (psi)	f'c admitido de diseño (psi)	Criterio de Cumplimiento o SI/NO
P0.2 - 1	6/10/2021	13/10/2021	7	3,888	197,0	25,08	3637,6	2100,0	SI
P0.2 - 2	6/10/2021	13/10/2021	7	3,900	202,0	25,72	3730,4	2100,0	SI
P0.2 - 3	6/10/2021	13/10/2021	7	3,955	221,0	28,14	4081,4	2100,0	SI
P0.2 - 4	6/10/2021	13/10/2021	7	3,899	176,0	22,41	3250,3	2100,0	SI
PROM 7 DIAS							3674,9		

Tabla 18
Ensayo de compresión probetas melaza 0,4% – 7 días

Probeta	Fundida	Fallada	Edad de la Muestra	Peso (kg)	F (kN)	f'c (Mpa)	f'c (psi)	f'c admitido de diseño (psi)	Criterio de Cumplimiento SI/NO
P0.4 - 1	6/10/2021	13/10/2021	7	3,794	192,0	24,45	3546,2	2100,0	SI
P0.4 - 2	6/10/2021	13/10/2021	7	3,682	198,0	25,21	3656,4	2100,0	SI
P0.4 - 3	6/10/2021	13/10/2021	7	3,630	124,0	15,79	2290,2	2100,0	SI
P0.4 - 4	6/10/2021	13/10/2021	7	3,731	126,0	16,04	2326,4	2100,0	SI
PROM 7 DIAS							2954,8		

Tabla 19
Ensayo de compresión probetas melaza 0,6% – 7 días

Probeta	Fundida	Fallada	Edad de la Muestra	Peso (kg)	F (kN)	f'c (Mpa)	f'c (psi)	f'c admitido de diseño (psi)	Criterio de Cumplimiento SI/NO
P0.6 -1	7/10/2021	14/10/2021	7	3,720	179,0	22,79	3305,4	2100,0	SI

P0.6 -2	7/10/2021	14/10/2021	7	3,657	177,0	22,54	3269,2	2100,0	SI
P0.6 -3	7/10/2021	14/10/2021	7	4,008	200,0	25,46	3692,7	2100,0	SI
P0.6 -4	7/10/2021	14/10/2021	7	3,910	212,0	26,99	3914,6	2100,0	SI
PROM 7 DIAS								3545,5	

Tabla 20

Ensayo de compresión probetas melaza 0,8% – 7 días

Probeta	Fundida	Fallada	Edad de la Muestra	Peso (kg)	F (kN)	f'c (Mpa)	f'c (psi)	f'c admitido de diseño (psi)	Criterio de Cumplimiento SI/NO
P0.8 -1	7/10/2021	14/10/2021	7	3,660	52,0	6,62	960,2	2100,0	NO
P0.8 -2	7/10/2021	14/10/2021	7	3,765	55,0	7,00	1015,3	2100,0	NO
P0.8 -3	7/10/2021	14/10/2021	7	3,796	52,0	6,62	960,2	2100,0	NO
P0.8 -4	7/10/2021	14/10/2021	7	3,855	55,0	7,00	1015,3	2100,0	NO
PROM 7 DIAS								987,7	

Tabla 21

Ensayo de compresión probetas melaza 1% – 7 días

Probeta	Fundida	Fallada	Edad de la Muestra	Peso (kg)	F (kN)	f'c (Mpa)	f'c (psi)	f'c admitido de diseño (psi)	Criterio de Cumplimiento SI/NO
P1 - 1	8/10/2021	15/10/2021	7	3,893	6,0	0,76	110,2	2100,0	NO
P1 - 2	8/10/2021	15/10/2021	7	3,835	6,0	0,76	110,2	2100,0	NO
P1 - 3	8/10/2021	15/10/2021	7	3,916	5,0	0,64	92,8	2100,0	NO
P1 - 4	8/10/2021	15/10/2021	7	3,683	6,0	0,76	110,2	2100,0	NO
PROM 7 DIAS								105,9	

Tabla 22

Ensayo de compresión probetas con aditivo – 7 días

Probeta	Fundida	Fallada	Edad de la Muestra	Peso (kg)	F (kN)	f'c (Mpa)	f'c (psi)	f'c admitido de diseño (psi)	Criterio de Cumplimiento SI/NO
PA - 1	8/10/2021	15/10/2021	7	3,712	91,0	11,59	1681,0	2100,0	NO
PA - 2	8/10/2021	15/10/2021	7	3,802	92,0	11,71	1698,4	2100,0	NO
PA - 3	8/10/2021	15/10/2021	7	3,825	89,0	11,33	1643,3	2100,0	NO
PA - 4	8/10/2021	15/10/2021	7	3,74	86,0	10,95	1588,2	2100,0	NO
PROM 7 DIAS								1652,7	

Tabla 23
Ensayo de compresión probetas sin melaza – 14 días

Probeta	Fundida	Fallada	Edad de la Muestra	Peso (kg)	F (kN)	f'c (Mpa)	f'c (psi)	f'c admitido de diseño (psi)	Criterio de Cumplimiento SI/NO
P0-1	5/10/2021	19/10/2021	14	3,770	123,0	15,66	2271,30	2400,0	NO
P0-2	5/10/2021	19/10/2021	14	3,846	150,0	19,10	2770,23	2400,0	SI
P0-3	5/10/2021	19/10/2021	14	3,660	120,0	15,28	2216,18	2400,0	NO
P0-4	5/10/2021	19/10/2021	14	3,697	143,0	18,21	2641,14	2400,0	SI
PROM 14 DIAS							2474,71		

Tabla 24
Ensayo de compresión probetas melaza 0,2% – 14 días

Probeta	Fundida	Fallada	Edad de la Muestra	Peso (kg)	F (kN)	f'c (Mpa)	f'c (psi)	f'c admitido de diseño (psi)	Criterio de Cumplimiento SI/NO
P0.2 - 1	6/10/2021	20/10/2021	14	3,670	212,0	26,99	3914,6	2400,0	SI
P0.2 - 2	6/10/2021	20/10/2021	14	3,820	246,0	31,32	4542,6	2400,0	SI
P0.2 - 3	6/10/2021	20/10/2021	14	3,838	245,0	31,19	4523,7	2400,0	SI
P0.2 - 4	6/10/2021	20/10/2021	14	3,897	222,0	28,27	4100,2	2400,0	SI
PROM 14 DIAS							4270,3		

Tabla 25
Ensayo de compresión probetas melaza 0,4% – 14 días

Probeta	Fundida	Fallada	Edad de la Muestra	Peso (kg)	F (kN)	f'c (Mpa)	f'c (psi)	f'c admitido de diseño (psi)	Criterio de Cumplimiento SI/NO
P0.4 - 1	6/10/2021	20/10/2021	14	3,683	192,0	24,45	3546,2	2400,0	SI
P0.4 - 2	6/10/2021	20/10/2021	14	3,862	206,0	26,23	3804,3	2400,0	SI
P0.4 - 3	6/10/2021	20/10/2021	14	3,948	207,0	26,36	3823,2	2400,0	SI
P0.4 - 4	6/10/2021	20/10/2021	14	3,798	179,0	22,79	3305,4	2400,0	SI
PROM 14 DIAS							3619,8		

Tabla 26
Ensayo de compresión probetas melaza 0,6% – 14 días

Probeta	Fundida	Fallada	Edad de la Muestra	Peso (kg)	F (kN)	f'c (Mpa)	f'c (psi)	f'c admitido de diseño (psi)	Criterio de Cumplimiento SI/NO
P0.6 -1	7/10/2021	21/10/2021	14	3,897	264,0	33,61	4874,7	2400,0	SI
P0.6 -2	7/10/2021	21/10/2021	14	3,666	209,0	26,61	3859,5	2400,0	SI
P0.6 -3	7/10/2021	21/10/2021	14	3,770	230,0	29,28	4246,7	2400,0	SI
P0.6 -4	7/10/2021	21/10/2021	14	3,821	246,0	31,32	4542,6	2400,0	SI
PROM 14 DIAS							4380,9		

Tabla 27
Ensayo de compresión probetas melaza 0,8% – 14 días

Probeta	Fundida	Fallada	Edad de la Muestra	Peso (kg)	F (kN)	f'c (Mpa)	f'c (psi)	f'c admitido de diseño (psi)	Criterio de Cumplimiento SI/NO
P0.8 -1	7/10/2021	21/10/2021	14	3,747	184,0	23,43	3398,2	2400,0	SI
P0.8 -2	7/10/2021	21/10/2021	14	3,823	198,0	25,21	3656,4	2400,0	SI
P0.8 -3	7/10/2021	21/10/2021	14	3,878	201,0	25,29	3668,0	2400,0	SI
P0.8 -4	7/10/2021	21/10/2021	14	3,870	165,0	21,01	3047,2	2400,0	SI
PROM 14 DIAS							3442,5		

Tabla 28
Ensayo de compresión probetas melaza 1% – 14 días

Probeta	Fundida	Fallada	Edad de la Muestra	Peso (kg)	F (kN)	f'c (Mpa)	f'c (psi)	f'c admitido de diseño (psi)	Criterio de Cumplimiento SI/NO
P1 - 1	8/10/2021	22/10/2021	14	3,841	61,0	7,77	1126,9	2400,0	NO
P1 - 2	8/10/2021	22/10/2021	14	3,770	48,0	6,11	886,2	2400,0	NO
P1 - 3	8/10/2021	22/10/2021	14	3,740	53,0	6,75	979,0	2400,0	NO
P1 - 4	8/10/2021	22/10/2021	14	3,818	71,0	9,04	1311,1	2400,0	NO
PROM 14 DIAS							1075,8		

Tabla 29
Ensayo de compresión probetas con aditivo – 14 días

Probeta	Fundida	Fallada	Edad de la Muestra	Peso (kg)	F (kN)	f'c (Mpa)	f'c (psi)	f'c admitido de diseño (psi)	Criterio de Cumplimiento SI/NO
PA - 1	8/10/2021	22/10/2021	14	3,878	132,0	16,81	2438,1	2400,0	SI
PA - 2	8/10/2021	22/10/2021	14	3,650	133,0	16,93	2455,5	2400,0	SI
PA - 3	8/10/2021	22/10/2021	14	3,875	136,0	17,32	2512,1	2400,0	SI
PA - 4	8/10/2021	22/10/2021	14	3,898	129,0	16,42	2381,5	2400,0	NO
PROM 14 DIAS							2446,8		

Tabla 30
Ensayo de compresión probetas sin melaza – 28 días

Probeta	Fundida	Fallada	Edad de la Muestra	Peso (kg)	F (kN)	f'c (Mpa)	f'c (psi)	f'c admitido de diseño (psi)	Criterio de Cumplimiento SI/NO
P0-1	5/10/2021	2/11/2021	28	3,861	160,0	20,37	2954,42	3000,0	NO
P0-2	5/10/2021	2/11/2021	28	3,638	148,0	18,84	2732,52	3000,0	NO
P0-3	5/10/2021	2/11/2021	28	3,751	156,0	19,86	2880,45	3000,0	NO
P0-4	5/10/2021	2/11/2021	28	3,772	152,0	19,35	2806,49	3000,0	NO
P0-5	5/10/2021	2/11/2021	28	3,870	171,0	21,77	3157,48	3000,0	SI
PROM 28 DIAS							2906,27		

Tabla 31
Ensayo de compresión probetas melaza 0,2% – 28 días

Probeta	Fundida	Fallada	Edad de la Muestra	Peso (kg)	F (kN)	f'c (Mpa)	f'c (psi)	f'c admitido de diseño (psi)	Criterio de Cumplimiento SI/NO
P0.2 - 1	6/10/2021	3/11/2021	28	3,746	190,0	24,19	3508,5	3000,0	SI
P0.2 - 2	6/10/2021	3/11/2021	28	3,773	244,0	31,07	4506,3	3000,0	SI
P0.2 - 3	6/10/2021	3/11/2021	28	3,674	261,0	33,23	4819,6	3000,0	SI
PROM 28 DIAS							4663,0		

Tabla 32
Ensayo de compresión probetas melaza 0,4% – 28 días

Probeta	Fundida	Fallada	Edad de la Muestra	Peso (kg)	F (kN)	f'c (Mpa)	f'c (psi)	f'c admitido de diseño (psi)	Criterio de Cumplimiento SI/NO
P0.4 - 1	6/10/2021	3/11/2021	28	3,869	220,0	28,01	4062,5	3000,0	SI
P0.4 - 2	6/10/2021	3/11/2021	28	3,881	225,0	28,65	4155,3	3000,0	SI
P0.4 - 3	6/10/2021	3/11/2021	28	3,831	222,0	28,27	4100,2	3000,0	SI
PROM 28 DIAS							4106,0		

Tabla 33
Ensayo de compresión probetas melaza 0,6% – 28 días

Probeta	Fundida	Fallada	Edad de la Muestra	Peso (kg)	F (kN)	f'c (Mpa)	f'c (psi)	f'c admitido de diseño (psi)	Criterio de Cumplimiento SI/NO
P0.6 -1	7/10/2021	4/11/2021	28	3,780	265,0	33,74	4893,6	3000,0	SI
P0.6 -2	7/10/2021	4/11/2021	28	3,728	239,0	30,43	4413,5	3000,0	SI
P0.6 -3	7/10/2021	4/11/2021	28	3,768	241,0	30,69	4451,2	3000,0	SI
P0.6 -4	7/10/2021	4/11/2021	28	3,637	246,0	31,32	4542,6	3000,0	SI
PROM 28 DIAS							4575,2		

Tabla 34
Ensayo de compresión probetas melaza 0,8% – 28 días

Probeta	Fundida	Fallada	Edad de la Muestra	Peso (kg)	F (kN)	f'c (Mpa)	f'c (psi)	f'c admitido de diseño (psi)	Criterio de Cumplimiento SI/NO
P0.8 -1	7/10/2021	4/11/2021	28	3,878	217,0	27,63	4007,4	3000,0	SI
P0.8 -2	7/10/2021	4/11/2021	28	3,870	228,0	29,03	4210,5	3000,0	SI
P0.8 -3	7/10/2021	4/11/2021	28	3,854	232,0	29,54	4284,4	3000,0	SI
PROM 28 DIAS							4167,4		

Tabla 35
Ensayo de compresión probetas melaza 1% – 28 días

Probeta	Fundida	Fallada	Edad de la Muestra	Peso (kg)	F (kN)	f'c (Mpa)	f'c (psi)	f'c admitido de diseño (psi)	Criterio de Cumplimiento SI/NO
---------	---------	---------	--------------------	-----------	--------	-----------	-----------	------------------------------	--------------------------------

P1 - 1	8/10/2021	5/11/2021	28	3,705	211,0	26,87	3897,2	3000,0	SI
P1 - 2	8/10/2021	5/11/2021	28	3,898	218,0	27,76	4026,3	3000,0	SI
P1 - 3	8/10/2021	5/11/2021	28	3,726	213,0	27,12	3933,4	3000,0	SI
P1 - 4	8/10/2021	5/11/2021	28	3,900	211,0	26,87	3897,2	3000,0	SI
P1 - 5	8/10/2021	5/11/2021	28	3,783	225,0	28,65	4155,3	3000,0	SI
PROM 28 DIAS							3981,9		

Tabla 36

Ensayo de compresión probetas con aditivo – 28 días

Probeta	Fundida	Fallada	Edad de la Muestra	Peso (kg)	F (kN)	f'c (Mpa)	f'c (psi)	f'c admitido de diseño (psi)	Criterio de Cumplimiento SI/NO
PA - 1	8/10/2021	5/11/2021	28	3,815	145,0	18,46	2677,4	3000,0	NO
PA - 2	8/10/2021	5/11/2021	28	3,907	152,0	19,35	2806,5	3000,0	NO
PA - 3	8/10/2021	5/11/2021	28	3,940	144,0	18,33	2658,5	3000,0	NO
PA - 4	8/10/2021	5/11/2021	28	3,859	147,0	18,72	2715,1	3000,0	NO
PA - 5	8/10/2021	5/11/2021	28	4,010	140,0	17,83	2586,0	3000,0	NO
PROM 28 DIAS							2688,7		

Tabla 37

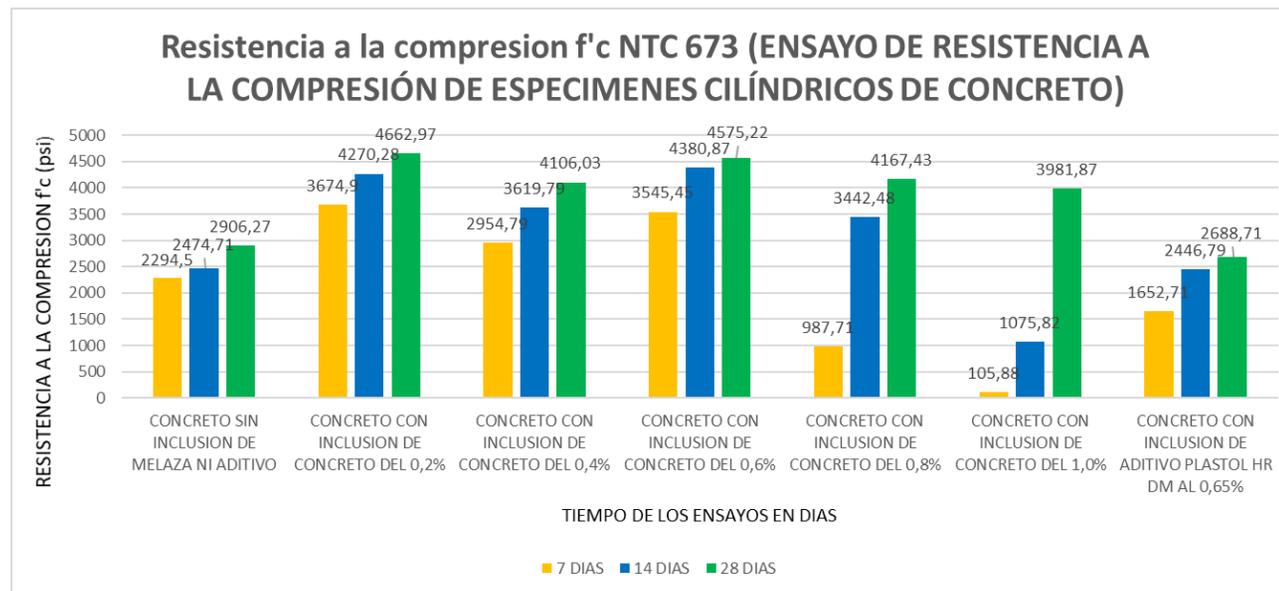
Promedios de resistencia del concreto

Tipo de Concreto	Resistencia Promedio f'c a los 7 días.	Resistencia Promedio f'c a los 14 días.	Resistencia Promedio f'c a los 28 días.
Concreto sin inclusión de melaza ni aditivo	2294,50 psi	2474,71 psi	2906,27 psi
Concreto con inclusión de melaza del 0,2%	3674,90 psi	4270,28 psi	4662,97 psi
Concreto con inclusión de melaza del 0,4%	2954,79 psi	3619,79 psi	4106,03 psi
Concreto con inclusión de melaza del 0,6%	3545,45 psi	4380,87 psi	4575,22 psi
Concreto con inclusión de melaza del 0,8%	987,71 psi	3442,48 psi	4167,43 psi
Concreto con inclusión de melaza del 1,0%	105,88 psi	1075,82 psi	3981,87 psi
Concreto con aditivo PLASTOL HR DM al 0,65%	1652,71 psi	2446,79 psi	2688,71 psi

En la figura 18 se graficaron los resultados promedios de las resistencias alcanzadas por las diferentes muestras, se aprecia que la mayoría de los diseños alcanzaron los valores mínimos de diseño, de 2100, 2400 y 3000 psi en los periodos de 7, 14 y 28 días. La incorporación de melaza parece indicar un incremento sustancial en la resistencia del concreto, mostrando mejores resultados con dosificaciones entre 0,2% y el 0,6% contrario a lo que ocurre con el uso de aditivo para el cual la resistencia se reduce a los primeros 7 días aumentando posteriormente para los 14 y 28 días, sin superar los valores de la mezcla de referencia.

Figura 18

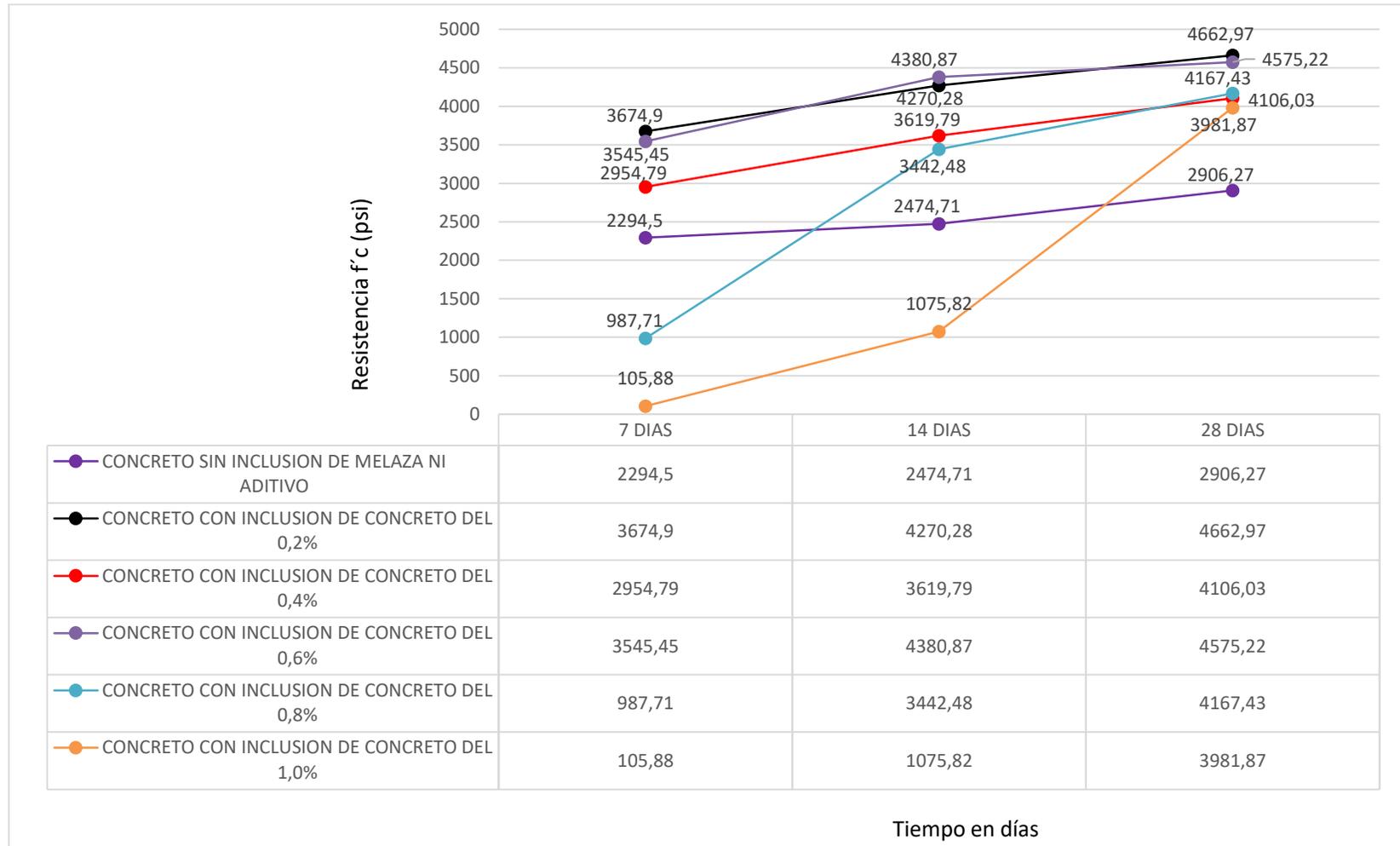
Valores de resistencia de promedio de las diferentes mezclas



Adicionalmente en la figura 19 se indica la tendencia de aumento de los valores promedios de resistencia en los periodos de 7, 14 y 28 días para las diferentes mezclas de concreto

Figura 19

Gráficos de tendencia de los valores de resistencia promedio de las diferentes mezclas



4.3. Analizar la variación del comportamiento del concreto modificado empleando un microscopio electrónico de barrido o SEM.

La microscopia electrónica de barrido (SEM) es una técnica que permite el análisis microscópico de diferentes materiales, con esta técnica se pueden observar cambios en la superficie de la fibra que tienen lugar como consecuencia de la interacción entre diferentes materiales. Adicionalmente gracias a su gran profundidad de campo permite realizar aumentos mucho mayores que un microscopio óptico convencional, lo cual permite una mayor información de la visual de la superficie analizada.

Inicialmente se realizó una preparación de la mezcla, para ello se eligió una porción de aproximadamente una pulgada producto de la falla a compresión de uno de los cilindros con 0.2% de melaza. Las muestras analizadas se colocaron durante 2 horas al vacío, realizando un secado previo durante media hora a 80°C, posteriormente se forran en aluminio y se dejan al descubierto en la superficie, para posteriormente ingresarlas dentro de una cámara ionizadora con recubrimiento de oro durante 20 minutos aproximadamente, esto permite que las muestras reciban electrones permitiendo la lectura en el microscopio.

Figura 20

Porción de la muestra para ensayo



Con la ayuda de unas platinas se extraen las muestras sin alterar para ingresarlas al microscopio, donde se procede a la captura de información con imágenes a diferentes ampliaciones en diferentes puntos de observación.

Figura 21

Muestra ionizada para la captura de información



Figura 22

Captura de información con imágenes a diferentes ampliaciones

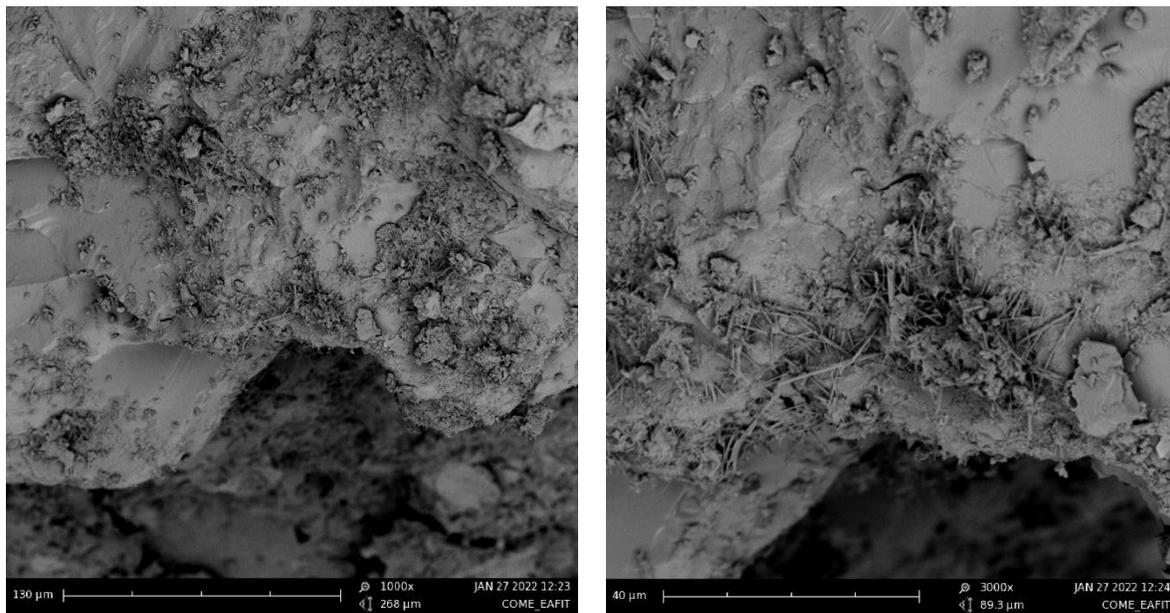


En las figuras 23 y siguientes se aprecian imágenes detalladas de la interacción de la pasta cementante con la melaza con un grado de detalle que varía de los $130\mu\text{m}$ a los $40\mu\text{m}$, a nivel general se observa una estructura típica de interacción de la matriz cementante con los agregados, y se presenta una superficie particularmente rugosa.

En la figura 23 se aprecia una homogeneidad de la pasta y su buena interacción con respecto al agregado, adicionalmente se denota una adecuada relación cemento agregado, no existen en forma evidente desprendimientos del agregado a causa de las cargas uniaxiales de compresión aplicadas al material, esto denota una considerable capacidad del material para soportar cargas de compresión.

Figura 23

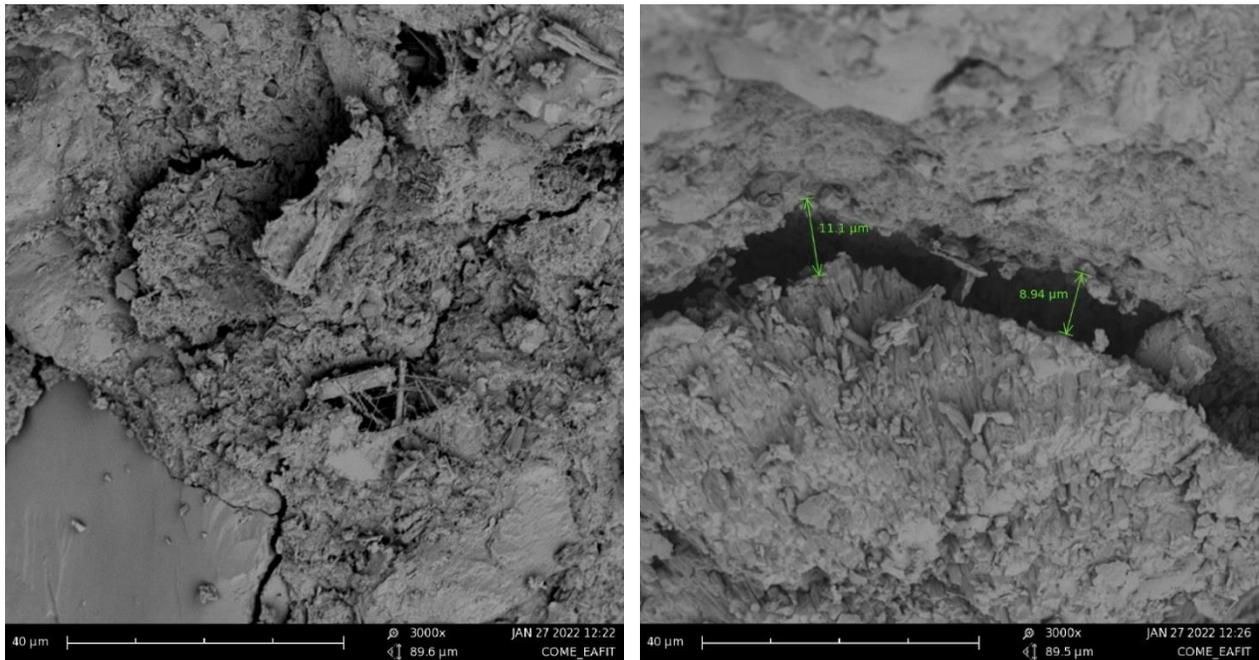
Imágenes de la muestra de concreto con melaza al 0.2%



En la figura 24, se pueden identificar fisuras tanto en la pasta cementante como en la zona circundante del agregado, las fisuras van de los 11.1 μm a 8.94 μm, estas fisuras en el espacio de interacción agregado-cemento sugieren una deshidratación del concreto o bien están asociadas al proceso interno que sufre el concreto cuando se contrae durante el fraguado.

Figura 24

Microfisuras presentes en la matriz cementante



Los datos recolectados sugieren que la incorporación de la melaza en la mezcla de concreto, si bien pudiera comprometer la capacidad de soportar cargas del material, se logra integrar en forma adecuada a la mezcla, permitiendo una buena adherencia entre la pasta y los agregados. En estudios posteriores se podría analizar el fraguado del material a nivel microscópico para identificar si la presencia de las microfisuras se debe a la deshidratación del material o a la retracción por fraguado.

4.4. Realizar un análisis comparativo de los costos necesarios para la fabricación de un concreto convencional respecto al concreto con la incorporación de melaza.

El proceso de la elaboración de un concreto convencional, es adaptable a diferentes situaciones en la obra, por esto, los precios de los materiales necesarios pueden llegar a ser variables según la región donde se lleve a cabo el proyecto de construcción. En este caso, se realiza un análisis de costo para un concreto de 3000 psi sin incluir el costo del transporte de materiales puestos en obra.

Los precios de algunos materiales fueron tomados de la página web Aconstructoras.com y de trituradoras regionales como Trituradora AC Ingeniería de Colombia SAS y Trituradora El Guayabal S.A.S. El precio de la melaza fue tomado de las empresas registradas en la página web Quimi.net. De igual forma, el aditivo Plastol HR/DM de su ficha técnica e información proporcionada de las paginas Toxement.com y Cimelec.com. Así mismo, para la mano de obra, se manejó una cuadrilla de nueve (9) trabajadores con el precio de pago por día, según el valor del salario mínimo mensual legal vigente (SMMLV) para el año 2022, como se muestra en la Tabla 40, para un análisis de precio unitario (APU) con el aditivo antes mencionado, como se muestra en la Tabla 39, para un APU con la adición de la melaza al 0,2%, respecto al concreto convencional sin aditivo de la Tabla 38.

Tabla 38

Análisis de precio unitario de un concreto convencional de 3000 psi

Ítem			Unidad		
Elaboración de concreto 3000 psi			1 m ³		
Equipos y herramientas	Unidad	Cantidad	Tarifa	Rendimiento	Valor parcial
Herramienta menor	Global	1	\$ 7.680	1	\$ 7.680,000
Mezcladora de concreto 1 bulto	Día	1	\$ 70.000	15	\$ 4.666,667
Total					\$ 12.346,667
Materiales	Unidad	Cantidad		Valor unitario	Valor parcial
Cemento	kg	350		\$ 540,00	\$ 189.000,000
Arena	m ³	0,56		\$ 50.000,00	\$ 28.000,000
Agregado	m ³	0,84		\$ 78.571,43	\$ 66.000,000
Agua	ltrs	181		\$ 20,60	\$ 3.728,600
Total					\$ 286.728,600
Mano de obra	Unidad	Cantidad	Salario	Rendimiento	Valor parcial
Cuadrilla 0x9	Día	1	\$ 299.997,000	15	\$ 19.999,800
Total					\$ 19.999,800
Costo unitario					\$ 319.075,066

Tabla 39

Análisis de precio unitario de un concreto convencional de 3000 con Melaza

Ítem			Unidad		
Elaboración de concreto 3000 psi			1 m ³		
Equipos y herramientas	Unidad	Cantidad	Tarifa	Rendimiento	Valor parcial
Herramienta menor	Global	1	\$ 7.680	1	\$ 7.680,000
Mezcladora de concreto 1 bulto	Día	1	\$ 70.000	15	\$ 4.666,667
Total					\$ 12.346,667
Materiales	Unidad	Cantidad		Valor unitario	Valor parcial
Cemento	kg	350		\$ 540,00	\$ 189.000,000

Arena	m3	0,56		\$ 50.000,00	\$ 28.000,000
Agregado	m3	0,84		\$ 78.571,43	\$ 66.000,000
Agua	ltrs	181		\$ 20,60	\$ 3.728,600
Melaza	Kg	2,1		\$ 8.500,00	\$ 17.850,000
Total					\$ 304.578,600
Mano de obra	Unidad	Cantidad	Salario	Rendimiento	Valor parcial
Cuadrilla 0x9	Día	1	\$ 299.997,000	15	\$ 19.999,800
Total					\$ 19.999,800
Costo unitario					\$ 336.925,066

El análisis de costo anterior muestra una diferencia de \$15.449,175 por metro cubico (m3), presentando disminución en la adición de melaza respecto al concreto elaborado con aditivo Plastol hr/dm.

Esta reducción de costos representa un 4,384% del costo de un concreto convencional de 3000 psi con aditivo Plastol hr/dm y un aumento del mismo porcentaje de un concreto convencional de 3000 psi, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 40

Comparación de costos para un concreto convencional de 3000 psi

Costos para un concreto convencional de 3000 psi/m3		
Sin aditivo	Con Plastol HR/DM	Con melaza
\$ 319.075,066	\$ 352.374,241	\$ 336.925,066

Conclusiones

El uso de aditivos en el concreto busca modificar las propiedades del concreto endurecido; para asegurar la calidad del concreto durante el mezclado, transporte, colocación y curado; y para superar ciertas emergencias durante operaciones concretas. El uso exitoso de aditivos depende del uso de métodos apropiados de dosificación y la efectividad de un aditivo depende de varios factores que incluyen: tipo y cantidad de cemento, contenido de agua, tiempo de mezclado, asentamiento y temperaturas del concreto y del aire. A veces, se pueden lograr efectos similares a los que se logran mediante la adición de aditivos alterando la mezcla de concreto, reduciendo la relación agua-cemento, agregando cemento adicional, usando un tipo diferente de cemento o cambiando la gradación de agregados y agregados.

Adicionalmente el desarrollo tecnológico de materiales y los avances en el uso de materiales alternativos han propiciado el uso de materiales poco convencionales, de menor costo y con un menor impacto ambiental, tal es el caso del uso de la melaza de caña de azúcar, el cual según el estado del arte consultado se ha empleado con éxito como agente retardante y plastificante del concreto.

La investigación desarrollada planteó la incorporación de melaza en mezclas de concreto en dosificaciones del 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8% y 1.0% inicialmente la caracterización de los materiales corresponden al cemento de uso general, agregados que se ajustan a los valores recomendados por la norma NTC 174. La melaza es de uso comercial con un peso específico de 1.4 g/cm^3 , un PH de 5.0 y una humedad del 26%.

Las propiedades físicas del material medidas principalmente a partir del asentamiento indicaron que:

- Las dosificaciones del 0.4% y 1% de melaza se logran resultados similares a los de un plastificante de uso comercial, en este caso el PLASTOL, luego del proceso de mezclado se mantiene una adecuada trabajabilidad hasta 30 min después del proceso de mezclado.
- La adición de melaza más allá del 1% no necesariamente hace mejorar las condiciones de trabajabilidad, por lo cual, una incorporación en un porcentaje superior no sería necesario.
- Un porcentaje de incorporación del 0.4% logro los mejores resultados en el tiempo, manteniendo la trabajabilidad hasta 60 minutos después del mezclado.

Con respecto a las propiedades mecánicas del material la cual se midió a partir de los ensayos de resistencia a la compresión, se identificó lo siguiente:

- La incorporación de melaza provoca una mejora sustancial de la resistencia ultima del concreto, esta propiedad puede estar relacionada con la reducción de agua de mezclado, mejorando la relación agua/cemento.
- El uso de melaza brinda mejores resultados que el plastificante convencional en términos de resistencia para las diferentes edades (7, 14 y 28 días).
- Con las dosificaciones del 0.2% y 0.6% se alcanzaron los mayores valores de resistencia en las diferentes edades de curado. Y a partir del 0.8% se observa una caída en los valores promedio de resistencia.

Mediante el análisis realizado con las imágenes de microscopía de barrido electrónico (SEM) se pudo evidenciar que la melaza se logra integrar en forma adecuada a la mezcla, permitiendo una buena adherencia entre la pasta y los agregados. No obstante, se pudieron identificar microfisuras que pudieran estar asociadas a la deshidratación del material o a la retracción por fraguado.

Finalmente, el análisis de costos realizado entre un concreto con aditivo convencional y empleando melaza, indica una reducción de un 4,4% del costo de un concreto convencional de 3000 psi con aditivo Plastol hr/dm y un aumento del mismo porcentaje de un concreto convencional de 3000 psi.

A partir de los resultados obtenidos es evidente que el uso de la melaza como agente plastificante y retardante es una alternativa viable considerando las propiedades físicas y mecánicas del material y desde el punto de vista presupuestal. Con el cual se logra mejoras sustanciales en la trabajabilidad de las mezclas y en la resistencia del concreto. Con el porcentaje del 0.4% se logró la mayor trazabilidad en las mezclas y con el 0.6% las mayores resistencias.

Referencias

- Adefemi, A., Muhammad, U., Kebbi, U. M. B., & Olugbenga, S. (2013). Effect of Admixture on Fire Resistance of Ordinary Portland Cement Concrete”. *Civil and Environmental Research*, 3(1).
- Akar, C. y Canbaz, M. (2016). Effect of molasses as an admixture on concrete durability. *Journal of Cleaner Production*. 112(4), 2374-2380. doi:10.1016/j.jclepro.2015.09.081
- Akar, C., & Canbaz, M. (2016). Effect of molasses as an admixture on concrete durability. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2374-2380.
- Al Menhosh, A., Wang, Y., Wang, Y., & Augusthus-Nelson, L. (2018). Long term durability properties of concrete modified with metakaolin and polymer admixture. *Construction and Building Materials*, 172(2), 41-51.
- Ali, B., y Qureshi, L. A. (2019). Durability of recycled aggregate concrete modified with sugarcane molasses. *Construction and Building Materials*. 229, 116-130.
doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.116913
- Álvarez Guillén, J. C. (2017). *Azúcar como aditivo retardante y modificador de resistencia para mezclas de concreto*. (Tesis de Pregrado) Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Álvarez Guillén, J. C. (2017). *Azúcar como aditivo retardante y modificador de resistencia para mezclas de concreto*. (Tesis de pregrado) Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Obtenido de:
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/6681/1/Julio%20C%C3%A9sar%20Alvarez%20Guill%C3%A9n.pdf>
- Anejo, J. A., GbengaLapinni, H., & Ahmadu, A. (2014). Comparative Study of the Physical Properties of Some Selected Cement Brands in Nigeria. *Rhino*, 10(10), pp. 1-6.

- ASTM C494/C494M-08^a (2013). *Historical Standard: Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto*. ASTM International.
- Azhagarsamy, S., & Jaiganesan, K. (2016). A study on strength properties of concrete with rice husk ash and silica fume with addition of glass fiber. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3(8), 1681-1684.
- Bamigboye, G., Ede, A. N., Egwuatu, C., Jolayemi, J., Olowu, O. A., & Odewumi, T. (2015). Assessment of compressive strength of concrete produced from different brands of Portland cement. *Civil and Environmental Research*, 7(8), 31-38.
- Barbudo, A., Brito, J., Evangelista, L., Bravo, M., Agrela, F. (2013). Influence of water-reducing admixtures on the mechanical performance of recycled concrete. *Journal of Cleaner Production*. 59(15), 93-98. doi:10.1016/j.jclepro.2013.06.022
- Behar Castro, M. F. (2017). *Estudio del comportamiento reológico de la melaza de caña de azúcar*. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- Betioli, A. M., Gleize, P. J. P., John, V. M., & Pileggi, R. G. (2012). Effect of EVA on the fresh properties of cement paste. *Cement and Concrete Composites*, 34(2), 255-260.
- Bhupender, S.. (2016). *Suitability of Sugar Waste in Structural Concrete*. (Doctoral dissertation). Thapar University. Patiala, India.
- Carhuamaca, J. (2012). Ventajas Técnicas y Económicas mediante el empleo de Aditivos Plastificantes en la elaboración de Concreto. *Civilizate*, (1), 6-8.
- Cartuxo, f. Brito, J. Evangelista, L. Jiménez, J. Ledesma, E. (2016). Increased Durability of Concrete Made with Fine Recycled Concrete Aggregates Using Superplasticizers. *Materials*. 9(2), 98-101. doi:10.3390/ma9020098

- Castaldelli, V. N., Akasaki, J. L., Melges, J. L., Tashima, M. M., Soriano, L., Borrachero, M. V., ... & Payá, J. (2013). Use of slag/sugar cane bagasse ash (SCBA) blends in the production of alkali-activated materials. *Materials*, 6(8), 3108-3127.
- Cubas Gálvez, J. L. (2019). *Mejoramiento del Concreto $f'c$ 210 kg/cm² y mortero 1: 5 adicionando aditivos Chema, distrito de Víctor Larco Herrera, Trujillo, La Libertad.* (Tesis de Pregrado) Universidad de Cesar Vallejo. Trujillo, Perú.
- Galindo Escobar, J. E. (2020). *Investigación sobre el comportamiento de resistencias de elementos estructurales (viga y columna) de concreto reforzado con azúcar como aditivo retardante del concreto* (Tesis de Maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- García Díaz, J. L. (2019). *Mejoramiento del concreto adicionando fibras sintéticas en las graderías del estadio Lancones, Sullana, Piura.* (Tesis de Pregrado) Universidad de Cesar Vallejo. Lima, Perú.
- Gelardi, G., Mantellato, S., Marchon, D., Palacios, M., Eberhardt, A. B., & Flatt, R. J. (2016). *Chemistry of chemical admixtures. In Science and technology of concrete admixtures.* Woodhead Publishing.
- Greesan, R., Prathap, P., & Vijayakumar, R. (2014). Manufacturing of Concrete with Retarders. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(4), 1637-1639.
- Gregori, A., Castoro, C., Marano, G. C., & Greco, R. (2019). Strength reduction factor of concrete with recycled rubber aggregates from tires. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(8), 04019146.
- Habert, G. (2013). Environmental impact of Portland cement production. *Eco-efficient concrete in Woodhead Publishing*. Recuperado de: <https://doi.org/10.1533/9780857098993.1.3>

Johnston, C. D. (2014). *Fiber-reinforced cements and concretes*. Taylor y Francis. University of Calgary. Alberta, Canadá.

Jumadurdiyev, A. M. Hulusi Ozkul, Ali R. Saglam, Nazmiye Parlak (2005). The utilization of beet molasses as a retarding and water-reducing admixture for concrete. *Cement and Concrete Research*. 35(5), 874-882. doi:10.1016/j.cemconres.2004.04.036

Jumadurdiyev, A., Ozkul, M. H., Saglam, A. R., & Parlak, N. (2005). The utilization of beet molasses as a retarding and water-reducing admixture for concrete. *Cement and concrete research*, 35(5), 874-882.

León, A., & Guillén, V. (2020). *Energía contenida y emisiones de CO2 en el proceso de fabricación del cemento en Ecuador*. *Ambiente Construído*, 20(3), 611-625.
doi:10.1590/s1678-86212020000300448

Liu, J., Yu, C., Shu, X., Ran, Q., y Yang, Y. (2019). Recent advance of chemical admixtures in concrete. *Cement and Concrete Research*. 124(1), 105-125.
doi:10.1016/j.cemconres.2019.105834

Mansor, A. M., Borg, R. P., Hamed, A. M., Gadeem, M. M., y Saeed, M. M. (2018). The effects of water-cement ratio and chemical admixtures on the workability of concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 442(1), 12-20. doi:10.1088/1757-899X/442/1/012017

McCormac, J. C., & Brown, R. (2011). *Diseño de concreto reforzado*. Alfaomega Grupo Editor.
Recuperado de:

<https://dspace.scz.ucb.edu.bo/dspace/bitstream/123456789/24103/3/13166.pdf>

Morales-Zamora, M., González-Suárez, E., Mesa-Garriga, L., & Castro, E. (2013). Estrategia de reconversión de la industria diversificada de la caña de azúcar para la producción

- conjunta de bioetanol y coproductos. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (66), 189-198.
- Nibudey, R. N., Nagarnaik, P. B., Parbat, D. K., & Pande, A. M. (2014). Compressive strength and sorptivity properties of pet fiber reinforced concrete. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 7(4), 1206.
- Noruzman, A. H., Muhammad, B., Ismail, M., & Abdul-Majid, Z. (2012). Characteristics of treated effluents and their potential applications for producing concrete. *Journal of environmental management*, 110, 27-32.
- Otunyo, A. W., & Koate, I. (2015). Sugar cane juice as a retarding admixture in concrete production. *Global journal of engineering research*, 14(1), 17-23.
- Patil, P. S., Mali, J. R., Tapkire, G. V., & Kumavat, H. R. (2014). Innovative techniques of waste plastic used in concrete mixture. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(9), 29-32.
- Proops, J. L., Faber, M., & Wagenhals, G. (2012). *Reducing CO2 Emissions: A Comparative Input-output-study for Germany and the UK*. Springer Science & Business Media.
- Quintero, C., y Herrera, C. (2021), *Aditivos reductores de agua de alto rango o superplastificantes y su efecto en las propiedades del concreto*. (Tesis de Pregrado). Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Colombia.
- Restrepo, J. C., Restrepo, O. J., & Tóbon, J. I. (2014). Reducción de CO2 en la industria cementera por medio de procesos de síntesis química. *Revista Colombiana de Materiales*, (5), 54-60.
- Rodríguez, F., & Fernández, G. (2010). Ingeniería sostenible: nuevos objetivos en los proyectos de construcción. *Revista ingeniería de construcción*, 25(2), 147-160.

- Rojas, M. A. Y. T. A., & Wilson, J. (2014). *Influencia del aditivo superplastificante en el tiempo de fraguado, trabajabilidad y resistencia mecánica del concreto, en la ciudad de Huancayo*. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Contro del Perú.
- Ruiz, A. F., Peñaranda, C. J., Fuentes, G., & Semprun, M. D. (2020). Análisis comparativo de resultados en el uso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar como material sustituyente del cemento portland en el concreto. *Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 11(2), 8-17.
- Salinas, A. M. (2020). *Convención: la puerta dulce del Catatumbo*. [Pagina Web]. Recuperado de: <https://www.radionacional.co/noticias/cultura/tradicion-panelera-catatumbo-norte-santander>
- Sarka, E., Bubnik, Z., Hinkova, A., Gebler, J., & Kadlec, P. (2012). Molasses as a by-product of sugar crystallization and a perspective raw material. *Procedia Engineering*, 42, 1219-1228.
- SERTE, A. T. (2019). Impact of sugarcane molasses in concrete as time retarding and water reducing admixture (doctoral dissertation, architectural engineering). *Addis Ababa Science and Technology University*.
- Shruti, S. D. (2016) *Suitability of sugar waste in structural concrete*. (Tesis Doctoral) Thapar University. Obtenido de:
<http://117.203.246.91:8080/jspui/bitstream/10266/4397/4/4397.pdf>
- Silgado, S. S., Molina, J. D., Mahecha, L., y Calderón, L. (2018). Diagnóstico y propuestas para la gestión de los residuos de construcción y demolición en la ciudad de Ibagué (Colombia). *Gestión y Ambiente*, 21(1), 9-21.

- Soto Gutiérrez, L. F. (2019) *Efecto del azúcar de caña en las propiedades físicas y mecánicas de las pastas y morteros elaborados con cemento Tequendama*. (Tesis de pregrado) Universidad Militar nueva granada. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/32498/SotoGuti%C3%A9rrezLuisFelipe2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sukumar, A., & John, E. (2014). Fiber addition and its effect on concrete strength. *Int. J. Innov. Res. Adv. Eng.(IJIRAE)*, 1(8), 144-149.
- Torres Lamedada, J. D., y Niño Mejía, Á. D. (2020). *Estudio del control de calidad del concreto premezclado en el piso no. 11 y área de la piscina en la torre 355 ubicada en la av. principal las mercedes, municipio Baruta, Edo. Miranda* (Tesis Doctoral). Universidad Nueva Esparta.
- Torres-Carrasco, M., & Puertas, F. (2017). La activación alcalina de diferentes aluminosilicatos como una alternativa al Cemento Portland: cementos activados alcalinamente o geopolímeros. *Revista ingeniería de construcción*, 32(2), 05-12.
- Velásquez, N., & Duran, N (2016). *Evaluación de la aptitud de concretos, reemplazando parcialmente el cemento portland por cenizas volantes y cenizas de Bagazo de caña de azúcar* (Tesis de pregrado). Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Colombia.
- Weifeng, L., Suhua, M., Shengbiao, Z. et al. (2014). Physical and chemical studies on cement containing sugarcane molasses, *Journal Therm. Anal. Calorim.* 118(1), 83–91.
doi:10.1007/s10973-014-3947-4
- Yildirim, H., & Altun, B. (2012). Usage of molasses in concrete as a water reducing and retarding admixtur.

Apéndices

Apéndice A. Diseño de mezcla por el Método ACI

(Documento Anexo)

Apéndice B. Diseño de mezcla por el método gráfico

(Documento Anexo)

Apéndice C. Ensayos de laboratorio Agregados

(Documento Anexo)

Apéndice D. Diseño de mezclas 3000 psi convencional, con melaza y con aditivo

(Documento Anexo)

Apéndice E. Resultados ensayo a la compresión del diseño ACI y por el Método grafico (7 días)

(Documento Anexo)

Apéndice F. Resultados ensayo a la compresión de todos los diseños y edades (7,14 y 28)

(Documento Anexo)