



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**AZÚCAR COMO ADITIVO RETARDANTE Y MODIFICADOR DE
RESISTENCIA PARA MEZCLAS DE CONCRETO**

Julio César Alvarez Guillén

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, marzo de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**AZÚCAR COMO ADITIVO RETARDANTE Y MODIFICADOR DE
RESISTENCIA PARA MEZCLAS DE CONCRETO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JULIO CÉSAR ALVAREZ GUILLÉN

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MARZO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian De León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Núñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. Karla Giovanna Pérez Loarca
EXAMINADOR	Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
EXAMINADOR	Ing. Alejandro Castañón López
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

AZÚCAR COMO ADITIVO RETARDANTE Y MODIFICADOR DE RESISTENCIA PARA MEZCLAS DE CONCRETO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
el 19 de marzo de 2015.


Julio César Álvarez Guillén



Guatemala, 19 de enero de 2017

Ingeniero
José Gabriel Ordoñez Morales
Área de Materiales y Construcciones Civiles
COORDINADOR

Ingeniero Ordoñez

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación: **AZÚCAR COMO ADITIVO RETARDANTE Y MODIFICADOR DE RESISTENCIA PARA MEZCLAS DE CONCRETO**, elaborado con el estudiante universitario Julio César Alvarez Guillen, quien contó con la asesoría de la suscrita.

Considerando que el trabajo desarrollado por el estudiante universitario Alvarez Guillen, satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

"Id y enseñad a todos"


Inga. Civil Dilma Yanet Mejicanos Jol
Col. 5947
ASESORA


Dilma Y. Mejicanos Jol
Ingeniera CMI
Col. 5947



USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala,
 13 de febrero de 2017

Ingeniero
 Hugo Leonel Montenegro Franco
 Director Escuela Ingeniería Civil
 Facultad de Ingeniería
 Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **AZÚCAR COMO ADITIVO RETARDANTE Y MODIFICADOR DE RESISTENCIA PARA MEZCLAS DE CONCRETO** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Julio César Alvarez Guillén quien contó con la asesoría de la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAN A TODOS

Ing. Civil José Gabriel Ordóñez Morales
 Coordinador del Área de Materiales y
 Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
 AREA DE MATERIALES Y
 CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/mrrm.



Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y del Coordinador del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Julio César Alvarez Guillén, titulado **AZÚCAR COMO ADITIVO RETARDANTE Y MODIFICADOR DE RESISTENCIA PARA MEZCLAS DE CONCRETO** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, marzo 2017
/mrrm.



Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **AZÚCAR COMO ADITIVO RETARDANTE Y MODIFICADOR DE RESISTENCIA PARA MEZCLAS DE CONCRETO**, presentado por el estudiante universitario: **Julio César Álvarez Guillén**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, marzo de 2017

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Misericordioso ser, que has estado a mi lado antes que naciera y en los momentos de dolor, te doy gracias por tenerme aquí en este magno momento.
- Virgen María** Mi mamá, gracias por mantenerme fuera del mal y apoyarme.
- Mis padres** José Antonio Alvarez Arreaga y Azucena Guillén de Alvarez, por su amor, que solo es comparado con el enorme esfuerzo que emplearon, para hacer de mí una persona de bien.
- Mis hermanos** Juan Carlos Alvarez, José Antonio Alvarez Guillén y Pablo Arturo Alvarez Guillén, por ser los mejores hermanos que alguien pueda pedir.
- Mi tía** Cristina Guillén (q.e.p.d), por preocuparse y estar atenta de nosotros.
- Mi abuelo** Arnulfo Guillén (q.e.p.d), con mucho cariño.

AGRADECIMIENTOS A:

**La Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios.

La Facultad de Ingeniería

Por formarme como ingeniero civil.

**Inga. Dilma Yanet
Mejicanos Jol**

Por creer en mí y en este tema de graduación, por el apoyo en esta larga y cansada investigación. Y ser una gran amiga y jefa.

**Ing. Luis Mariano
Alvarez Muralles**

Por la ayuda en este trabajo de graduación y ser un gran amigo y jefe.

**La Sección de Agregados,
Concretos y Morteros**

Iván Cano, Elder Ramos, César Vásquez, Sucelly Alvarez y Guillermo Lucero, por su amistad y colaboración en la realización de este trabajo de graduación.

**El Centro de
Investigaciones de
Ingeniería**

Por haberme permitido realizar los ensayos para realizar mi trabajo de graduación.

Mis amigos

Edvin Barrios, Bárbara Maldonado, Victoria Miranda y Hassler Marroquín por su valiosa amistad y experiencias compartidas. Paúl Monzón y Pedro Aguilar, gracias por la gran ayuda en la realización de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Azúcar	1
1.1.1. Tipos de azúcar	1
1.1.1.1. Azúcar morena	1
1.1.1.2. Azúcar rubia.....	2
1.1.1.3. Azúcar blanca.....	2
1.1.1.4. Azúcar refinada o extra blanca	2
1.1.2. Procesos de producción del azúcar	3
1.1.2.1. Extracción del jugo	3
1.1.2.2. Clarificación del jugo.....	4
1.1.2.3. Evaporación.....	4
1.1.2.4. Clarificación de meladura	5
1.1.2.5. Cristalización	5
1.1.2.6. Centrifugación.....	6
1.1.2.7. Enfriamiento, secado y envasado.....	6
1.1.3. Características químicas de los azúcares	6
1.1.3.1. Sacarosa.....	7
1.1.3.2. Azúcares reductores	8

	1.1.3.2.1.	Glucosa	8
	1.1.3.2.2.	Fructosa	9
1.2.	Concreto.....		10
1.2.1.	Propiedades generales del concreto		12
1.2.1.1.	Trabajabilidad.....		13
	1.2.1.1.1.	Consistencia.....	14
1.2.1.2.	Sangrado y asentamiento.....		15
1.2.1.3.	Resistencia.....		15
	1.2.1.3.1.	Resistencia a compresión.....	16
	1.2.1.3.2.	Relación agua cemento	17
	1.2.1.3.3.	Resistencia a tensión	17
	1.2.1.3.4.	Resistencia a flexión	18
1.2.1.4.	Densidad		18
1.2.1.5.	Durabilidad		19
1.2.2.	Curado del concreto		19
1.2.3.	Velocidad de endurecimiento		21
1.2.4.	Ensayos a concreto fresco		22
1.2.4.1.	Revenimiento		22
1.2.4.2.	Temperatura.....		24
1.2.4.3.	Peso unitario		24
1.2.4.4.	Contenido de aire		25
1.2.4.5.	Elaboración de cilindros		27
1.2.5.	Ensayos al concreto endurecido		30
1.2.5.1.	Resistencia a compresión		30
1.2.5.2.	Resistencia a flexión		31
1.2.5.3.	Carbonatación		33
1.2.6.	Aditivos.....		34

1.2.6.1.	Tipos de aditivos.....	34
1.2.6.1.1.	Inclusores de aire	35
1.2.6.1.2.	Reductores de agua	35
1.2.6.1.3.	Superplastificantes para concretos fluidos ..	36
1.2.6.1.4.	Retardadores.....	37
1.2.6.1.5.	Control de la hidratación.....	38
1.2.6.1.6.	Aceleradores	39
1.2.6.2.	Compatibilidad de los aditivos y los materiales cementantes.....	40
1.2.6.3.	Almacenamiento y dosificación de los aditivos químicos	40
1.2.6.4.	Antecedentes del uso de azúcar como aditivo.....	41
2.	MARCO METODOLÓGICO	43
2.1.	Materiales utilizados	43
2.1.1.	Cemento	44
2.1.2.	Agregados	46
2.1.2.1.	Agregado grueso	47
2.1.2.2.	Agregado fino	50
2.1.3.	Aditivo	54
2.1.3.1.	Molécula del azúcar.....	55
2.1.4.	Agua	56
2.2.	Diseño teórico para la mezcla de concreto.....	56
2.3.	Ensayos de laboratorio al concreto	58
2.3.1.	Ensayos a concreto fresco	58

2.3.1.1.	Revenimiento NTG 41052 (ASTM C-143)	59
2.3.1.2.	Temperatura NTG 41053 (ASTM C-1064)	60
2.3.1.3.	Peso unitario NTG 41017 h5 (ASTM C-138)	61
2.3.1.4.	Contenido de aire NTG 41017 h17 (ASTM C-231)	62
2.3.1.5.	Ensayo de velocidad de endurecimiento NTG 41017 h12 (ASTM C-403)	63
2.3.2.	Ensayos a concreto endurecido	65
2.3.2.1.	Ensayo a compresión en cilindros NTG 41017 h1 (ASTM C-39)	66
2.3.2.2.	Ensayo de carbonatación	67
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	69
3.1.	Concreto fresco	69
3.1.1.	Tiempo de fraguado	72
3.2.	Concreto endurecido	75
3.2.1.	Resistencia a compresión	75
3.2.1.1.	Hidratación del cemento	81
3.2.1.2.	Estructura submicroscópica	83
3.2.1.2.1.	Energía libre de Gibbs ..	84
3.2.2.	Carbonatación	86
	CONCLUSIONES	89
	RECOMENDACIONES	91
	BIBLIOGRAFÍA	93

ANEXOS..... 95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estructura de la sacarosa.....	8
2.	Estructura de la glucosa.....	9
3.	Estructura de la fructuosa	10
4.	Variación de las proporciones usadas en concreto.....	11
5.	Relación del tiempo de curado con la resistencia	20
6.	Ensayo de revenimiento.....	23
7.	Ensayo contenido de aire por el método de presión	26
8.	Flexión en centro de la viga	32
9.	Flexión en los tercios de la viga	32
10.	Prueba de color.....	33
11.	Granulometría del agregado grueso	49
12.	Agregado grueso utilizado.....	50
13.	Granulometría del agregado fino.....	52
14.	Agregado fino utilizado.....	53
15.	Máxima cantidad de azúcar utilizada	54
16.	Estructura molecular del compuesto de sacarosa.....	56
17.	Ensayo de revenimiento.....	59
18.	Ensayo de temperatura.....	59
19.	Ensayos peso unitario	59
20.	Ensayo de contenido de aire.....	59
21.	Tamizado en húmedo del concreto	63
22.	Toma de lectura de la resistencia a la penetración	64
23.	Espécimen ensayado durante 18 horas.....	65

24.	Ensayo a compresión	66
25.	Ensayo de carbonatación	68
26.	Tiempo de fraguado.....	74
27.	Grietas en cilindro con 0,15 % de azúcar morena	79
28.	Resistencia a compresión.....	80
29.	Estructura del SiO ₂	84
30.	Carbonatación del concreto en la parte superior	87
31.	Testigo con extracción de núcleo	88

TABLAS

I.	Factores de corrección	30
II.	Edad de ensayo y tolerancia admisible.....	31
III.	Principales componentes del cemento.	44
IV.	Características físicas del agregado grueso	47
V.	Porcentaje que pasa en los tamices para el agregado grueso	49
VI.	Características físicas del agregado fino	50
VII.	Porcentaje que pasa en los tamices para el agregado fino	53
VIII.	Resultados de ensayos a concreto fresco	69
IX.	Tiempo de fraguado.....	72
X.	Resistencia a compresión.....	76

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
cm²	Centímetro cuadrado
Cu⁺³	Cobre con valencia +2
C₆H₁₂O₆	Glucosa
°C	Grado Celsius
g	Gramo
g/mol	Gramo por mol
Fe⁺³	Hierro con valencia +3
H⁺	Ion hidronio
(OH)⁻	Ion hidroxilo o hidróxido
kg	Kilogramo
kg/cm²	Kilogramo por centímetro cuadrado
kg/m³	Kilogramo por metro cúbico
kJ/mol	Kilojoule por cantidad de materia
PSI	Libra por pulgada cuadrada
±	Más/menos
ml	Mililitro
mm	Milímetro
mm²	Milímetro cuadrado
#	Número
%	Porcentaje
pulg	Pulgada
pulg²	Pulgada cuadrada

L/D

Relación longitud diámetro

f'c

Resistencia de diseño del concreto

fc

Resistencia real del concreto

GLOSARIO

Aditivo	Son productos que se adicionan en pequeñas proporciones al concreto durante el mezclado, con el propósito de producir una modificación en algunas de sus propiedades originales o en el comportamiento del concreto en su estado fresco y/o en estado endurecido.
Agregado	Material inorgánico natural o artificial cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados, según norma están clasificados como fino y grueso; está embebido en la pasta y ocupa aproximadamente el 75 % del volumen del concreto.
Albúmina	Molécula que se compone de aminoácidos que forman distintas cadenas lineales, es una clase de proteína que se encuentra en el plasma de la sangre, la leche, la clara de huevo y las semillas de ciertas plantas, entre otros sitios. Su función es la correcta distribución de líquidos en el organismo.
ASTM	Siglas en inglés de la Sociedad Americana para el Ensayo e Inspección de los Materiales (<i>American Society for Testing and Materials</i>).

Carbonatación	Reacción entre el dióxido de carbono y un hidróxido u óxido para formar carbonato.
Carbonilo	Grupo que consiste en un átomo de carbono con un doble enlace a un átomo de oxígeno, se encuentra en compuestos llamados aldehídos y cetonas.
Cemento hidráulico	Es un cemento que fragua, endurece y desarrolla resistencia por reacción química con el agua, tanto en el aire como debajo del agua.
Coguanor	Comisión Guatemalteca de Normas.
Cohesión	Atracción mutua a través de la cual los elementos de una sustancia se mantienen unidos.
Curado	Proceso a través del cual se mantiene el concreto y mortero en la condición húmeda y a una temperatura favorable a fin de que se desarrollen las propiedades deseadas del material. El curado garantiza la hidratación y el endurecimiento satisfactorio de los materiales cementantes.
Dosificación	Proceso de medición, por peso o volumen, de los ingredientes y su introducción en la mezcladora para una cantidad de concreto y mortero.

Encofrado	Sistema de moldes temporales o permanentes que se utilizan para dar forma al hormigón u otros materiales similares.
Entropía	Puede ser la magnitud física termodinámica que permite medir la parte no utilizable de la energía contenida en el sistema, esta parte de energía no utilizable no puede ser empleada para producir un trabajo. También puede ser usado como medida del desorden de un sistema.
Fraguado	Grado en el cual el concreto fresco perdió su plasticidad y se endurece.
Fructosa	Es una forma de azúcar encontrada en los vegetales, las frutas y la miel. Es un monosacárido con la misma fórmula empírica que la glucosa, pero con diferente estructura.
Glucosa	Es un monosacárido con forma de una hexosa, es decir, contiene 6 átomos de carbono y es una aldosa, esto es, el grupo carbonilo está en el extremo de la molécula. Es una forma de azúcar que se encuentra libre en las frutas y en la miel.
Hidratación	Es la reacción entre el cemento hidráulico y el agua a través de la cual se forman nuevos compuestos que confieren resistencia al concreto.

Hidróxido	Son compuestos iónicos formados por un metal (catión) y un elemento del grupo hidróxido (anión). Se trata de compuestos ternarios, aunque tanto su formulación y nomenclatura son idénticos a las de los compuestos binarios.
Melaza	Sustancia espesa, dulce y de color oscuro que queda como residuo de la cristalización del azúcar de caña; se emplea como alimento y en la elaboración de ron.
Mortero	Mezcla de materiales cementantes, agregado fino y agua, que puede contener aditivos y normalmente se usa para unir unidades de mampostería.
Pasta	Constituyente del concreto y mortero, consiste en cemento y agua.
pH	Símbolo químico que representa el logaritmo del recíproco de la concentración de iones de hidrógeno en átomos gramo por litro, usado para expresar la acidez y la alcalinidad (base) de la solución en una escala de 0 a 14, donde menos que 7 representa acidez y más que 7 alcalinidad.
Puzolana	Materiales silíceos y aluminosos, tales como la ceniza volante o el humo de sílice, que por si mismo, poseen poco o ningún valor cementante, pero que cuando están finamente molidos y en presencia de agua, reaccionan con el hidróxido de calcio a temperaturas

normales, para formar compuestos que poseen propiedades cementantes.

Rigidez

Es una medida de la resistencia a las deformaciones elásticas producidas por un material, que contempla la capacidad de un elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones.

Sacarosa

Azúcar que se encuentra en el jugo de muchas plantas y se extrae especialmente de la caña dulce y de la remolacha.

Segregación

Separación de los componentes del concreto fresco (agregados y mortero), resultando en una mezcla sin uniformidad.

Trabajabilidad

Es la propiedad del concreto y mortero fresco que determina sus características de trabajo, es decir; la facilidad para su mezclado, colocación, moldeo y acabado.

RESUMEN

El trabajo de investigación que se presenta a continuación muestra el análisis del uso de azúcar como aditivo en mezclas de concreto, con el fin de determinar si el uso de azúcar tiene un efecto nocivo o beneficioso en la resistencia del concreto, realizando ensayos a compresión y carbonatación; asimismo, se determinó con ensayos el tiempo de fraguado en cada mezcla. Al obtener los resultados se comparan y analizan.

Para llevar a cabo la investigación se usaron dos tipos de azúcar: morena y blanca, los cuales se adicionaron en cantidades desde 0,03 % hasta 0,15 % por cada cantidad y tipo de azúcar; estas mezclas con azúcar se comparan con una mezcla patrón la cual no lleva adición de azúcar; por cada mezcla elaborada se realizaron ensayos al concreto fresco, tiempo de fraguado, resistencia a compresión y carbonatación. Todos estos ensayos están basados en especificaciones establecidas en las normas Coguanor y ASTM. Estos ensayos se realizaron en el Laboratorio de Agregados Concretos y Morteros del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Los resultados obtenidos muestran que el uso de azúcar sin importar el tipo, aumenta: el tiempo de fraguado, el contenido de aire y la resistencia a compresión, considerablemente proporcional a la cantidad usada, todo esto con cantidades controladas; el uso de azúcar crea un inconveniente que se debe tomar en consideración como gran aumento del tiempo de fraguado. Todos estos resultados favorables muestran que se debe usar azúcar como un aditivo para mezclas de concreto.

OBJETIVOS

General

Analizar si el uso de azúcar morena y blanca es apta para mezclas de concreto, como retardante y modificador de resistencia.

Específicos

1. Analizar los efectos que causa el uso de azúcar blanca y morena en las mezclas de concreto en relación al tiempo de fraguado, carbonatación y resistencia mecánica.
2. Determinar cuál de los dos tipos de azúcar tiene mejor desempeño en mezclas de concreto.
3. Determinar la cantidad de azúcar que es apta para el uso como aditivo en concreto estructural.
4. Analizar los efectos de la carbonatación y la reacción de los sulfatos en el concreto por la adición de azúcar.
5. Deducir que factores pueda influenciar en la reacción del azúcar en la mezcla de concreto.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de obtener concreto con diferentes propiedades ha generado la invención de diferentes tipos de aditivos. Los aditivos retardantes comerciales pueden significar un costo significativo a la obra, aunado a las pocas casas distribuidoras de este. Provocando que el uso del aditivo retardante sea poco usado y poco conocido.

Se sabe que el azúcar se usa en la construcción como aditivo retardante del fraguado, a expensas del costo y difícil acceso de un aditivo retardante comercial. 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. La necesidad de saber del porcentaje óptimo de azúcar a adicionar en el concreto que satisfaga el tiempo de fraguado necesario para su colocación y transporte. Asimismo, determinar cuál es el mejor tipo de azúcar para emplearlo. Se busca desvanecer este empirismo y obtener información que respalde el uso de azúcar como aditivo.

Para determinar si el uso de azúcar es apto como aditivo, se aplicaron las normas Coguanor y ASTM, las cuales proporcionan las especificaciones necesarias para realizar los ensayos para conocer las propiedades del concreto en estudio; asimismo, el uso de normas estandariza los resultados y con ello poder replicar estos resultados.

En el primer capítulo se presenta una descripción de qué es el azúcar, los tipos y su proceso de fabricación. Además, en este capítulo se describen

generalidades del concreto, algunos ensayos, aditivos y un extracto de lo poco que se conoce del azúcar como aditivo.

En el siguiente capítulo se describen los materiales usados, sus propiedades físicas, los ensayos a concreto fresco y endurecido realizados en cada una de las pruebas del desarrollo experimental de esta investigación. En el último capítulo se tabulan, analizan y comparan los resultados de los ensayos realizados con un concreto sin adición de azúcar.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Azúcar

El azúcar es un endulzante de origen natural, sólido, cristalizado, constituido esencialmente por cristales sueltos de sacarosa, obtenidos a partir de la caña de azúcar o de la remolacha azucarera mediante procedimientos industriales apropiados. Un grano de azúcar es entre 30 % y 70 % menor que el grano de arroz.

La sacarosa es un disacárido formado por una molécula de glucosa y una de fructosa que se obtiene principalmente de la caña de azúcar o de la remolacha. El 27 % de la producción total mundial se realiza a partir de la remolacha y el 73 % a partir de la caña de azúcar.

1.1.1. Tipos de azúcar

El azúcar se puede clasificar por su origen (caña de azúcar o remolacha), pero también por su grado de refinación. Normalmente la refinación se expresa visualmente a través del color (azúcar morena, azúcar rubia, blanca) que está dado principalmente por el porcentaje de sacarosa que contienen los cristales.

1.1.1.1. Azúcar morena

También llamada azúcar prieta, azúcar negra o azúcar cruda; se obtiene del jugo de caña de azúcar y no se somete a refinación, solo cristalizado y centrifugado. Este producto integral debe su color a una película de melaza que

envuelve cada cristal. Normalmente tiene 6,5 % de melaza y 93,5 % de sacarosa. El producto es naturalmente húmedo debido a la naturaleza higroscópica de la melaza.

1.1.1.2. Azúcar rubia

Es menos oscuro que el azúcar morena y con un mayor porcentaje de sacarosa. El azúcar rubio incluye 3,5 % de melaza y 93,5 % de sacarosa, por esto es más claro que el azúcar morena.

1.1.1.3. Azúcar blanca

También denominado azúcar común, el azúcar sulfitado corresponde al nombre obtenido por los procesos químicos de decoloración con azufre. El azúcar refinado no tiene vitaminas, minerales útiles, enzimas, microelementos, fibra, proteínas grasas y ningún beneficio en la alimentación humana. Con un nivel del 99,5 % de sacarosa.

1.1.1.4. Azúcar refinada o extra blanca

Es altamente puro, es decir, entre 99,8 % y 99,9 % de sacarosa. El azúcar rubia se disuelve, se le aplican reactivos como fosfatos, carbonatos, cal para extraer la mayor cantidad de impurezas, hasta lograr su máxima pureza. En el proceso de refinamiento se desechan algunos de sus nutrientes complementarios, como minerales y vitaminas.

1.1.2. Procesos de producción del azúcar

El azúcar se obtiene de la planta de caña o de remolacha por la reacción de fotosíntesis debiéndose separarse en el proceso de fabricación, otros componentes pueden ser la fibra, sales minerales, ácidos orgánicos e inorgánicos y otros, obteniéndose una sacarosa de alta pureza en forma de cristal. El proceso de fabricación de azúcar refinado de alta pureza de la caña de azúcar utiliza procesos físico-químicos naturales para eliminar las impurezas. El proceso de fabricación consta de los siguientes procesos:

1.1.2.1. Extracción del jugo

La extracción del jugo moliendo caña entre pesados rodillos o mazas constituye la primera etapa del procesamiento del azúcar. Primero, la caña se prepara para la molienda mediante picadoras de caña giratorias que cortan los tallos en pedazos pequeños, mediante molinos de martillos que desmenuzan la caña, pero no extraen el jugo. El molino consta de unidades múltiples que utilizan combinaciones de tres rodillos a través de los cuales pasan sucesivamente la caña exprimida o bagazo.

Para ayudar a la extracción del jugo se aplican aspersiones de agua o jugo diluido sobre la capa de bagazo, según sale de cada unidad de molienda. Lo anterior contribuye a extraer por lixiviación el azúcar. La molienda eficiente extrae más del 95 % del azúcar contenido en la caña y este porcentaje se conoce como extracción de sacarosa o pol de extracción. El bagazo final que sale del último molino contiene el azúcar no extraído; este material pasa por lo general a las celdas como combustible para la generación de energía eléctrica.

1.1.2.2. Clarificación del jugo

El jugo color verde oscuro procedente de los molinos es ácido y turbio. El proceso de clarificación cuyo objetivo principal es remover las impurezas tanto solubles como insolubles emplea en forma universal cal y calor como agentes clarificantes. La solución de cal neutraliza la acidez natural del jugo, formando sales insolubles de calcio, en su mayor parte fosfatos de calcio.

El calentamiento del jugo alcalizado hasta el punto de ebullición o ligeramente arriba, coagula la albúmina y algunas grasas, ceras y gomas; el precipitado así formado atrapa los sólidos en suspensión al igual que las partículas más finas. Los lodos se separan del jugo clarificado mediante sedimentación y se filtran en tambores rotativos de filtración.

El jugo filtrado regresa al proceso o pasa directamente al jugo clarificado y la cachaza regresa para ser utilizado como fertilizante. El jugo clarificado transparente y de un color parduzco para a los evaporadores sin tratamiento adicional.

1.1.2.3. Evaporación

El jugo clarificado presenta más o menos la misma composición que el jugo extraído, excepto las impurezas precipitadas por el tratamiento con cal, contiene aproximadamente 85 % de agua. Dos terceras partes del agua se evaporan en evaporadores de múltiple efecto, los cuales consisten en una sucesión de celdas de ebullición, dispuestos en serie de manera que cada cuerpo subsiguiente tiene un grado de menor presión y, por consiguiente, hierve a una temperatura más baja. Los vapores de un cuerpo hacen hervir de esta manera el jugo contenido

en el siguiente cuerpo. Mediante este sistema, el vapor introducido realiza una evaporación de múltiple efecto.

El vapor del cuerpo final pasa a un condensador de agua, la meladura sale en forma continua del último efecto con aproximadamente 65 % de sólidos y 35 % de agua.

1.1.2.4. Clarificación de meladura

En este caso, se añade a la meladura cal y ácido fosfórico, luego se aérea junto con la adición de un electrolito (polímero floculante). A continuación, la meladura floculada se pasa directamente a un clarificador donde se eliminan las impurezas por flotación.

1.1.2.5. Cristalización

Tiene lugar en tachos al vacío de simple efecto donde la meladura se evapora hasta quedar saturado de azúcar. En este momento se añaden semillas a fin de que sirvan de núcleos para los cristales de azúcar y se añade más meladura según se evapora el agua. El crecimiento de los cristales continúa hasta que se llena el tacho.

Bajo la vigilancia de un tachero experto, los cristales originales crecen sin que se formen cristales adicionados, de manera que, cuando el tacho está totalmente lleno, todos los cristales tienen el tamaño deseado. Los cristales y la meladura forman una masa densa conocida como masa cocida; a continuación, la templa se descarga por medio de una válvula de pie a un mezclador.

1.1.2.6. Centrifugación

La masa cocida proveniente del mezclador o del cristalizado se lleva a máquinas giratorias llamadas centrífugas donde se realiza la separación de cristales de la miel que los contiene.

1.1.2.7. Enfriamiento, secado y envasado

Los azúcares húmedos que descargan las centrífugas contienen 1 % de humedad aproximadamente y se transportan a tolvas distribuidoras situadas arriba de los granuladores, mediante elevadores de cangilones. El azúcar pasa ahora a través de los granuladores para proceder al secado.

El secador es el que separa los cristales uno de otro, se encuentra ligeramente inclinado con respecto a la horizontal en dirección al extremo de descarga y en su interior contiene una serie de entrepalos para levantar el azúcar y dejarlo caer, permitiendo que lo atraviese el aire caliente a medida que gira. Al salir el azúcar del secador, pasa a un enfriador, el cual trabaja de la misma manera, con la diferencia que el aire de trabajo se encuentra a temperatura ambiente. Al salir del secador, el azúcar debe estar relativamente frío, preferiblemente por debajo de los 110°C. Luego de enfriado el azúcar, este pasa a las tolvas por medio de un elevador, de las cuales, al salir el azúcar cae en los sacos donde se envasa.

1.1.3. Características químicas de los azúcares

Su fórmula general suele ser $(\text{CH}_2\text{O})_n$ donde oxígeno e hidrógeno se encuentran en la misma proporción que en el agua, de ahí su nombre clásico de hidratos de carbono, aunque su composición y propiedades no corresponde en

absoluto con esta definición. Pueden clasificarse como azúcares sencillos (monosacáridos) o complejos (disacáridos).

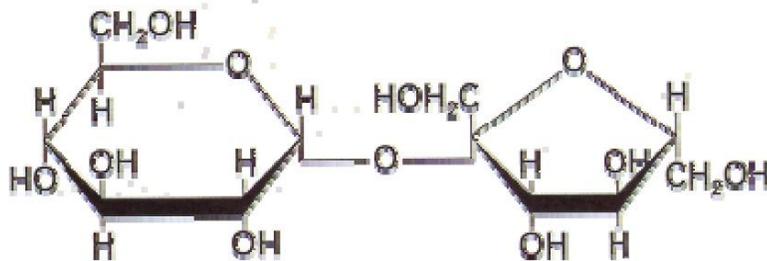
Los monosacáridos son sólidos, cristalinos, incoloros, solubles en agua y de sabor dulce. Químicamente son polihidroxialdehídos o polihidroxicetonas y responden a la fórmula empírica $(\text{CH}_2\text{O})_n$, en la que n tiene un valor igual o mayor que 3, siendo los más frecuentes los de 5 y 6 átomos de carbono.

Presentan en todos sus carbonos un grupo hidroxilo (-OH) excepto en uno, en el cual lleva un grupo carbonilo ($-\text{C}=\text{O}$). Si el grupo carbonilo se encuentra al final de la cadena el monosacárido es un aldehído y se denomina aldosa. Si se encuentra en un carbono secundario es una cetona y se llama cetosa. La mayoría de los monosacáridos poseen uno o más átomos de carbono asimétricos y son, por tanto, moléculas quirales; propiedad de los azúcares que ocasionan la rotación del plano de luz polarizada y la cual permite la determinación de la presencia de azúcares en jugos y productos de la fabricación de azúcar.

1.1.3.1. Sacarosa

La sacarosa, disacáridos obtenidos de la caña de azúcar, la remolacha y otras fuentes, es un componente importante de la dieta humana, como tal y en combinación con diversos alimentos comerciales. La sacarosa no contiene átomo de carbono anomérico libre; los de ambas hexosas se hallan unidos entre sí. La sacarosa, por tanto, no experimenta mutarrotación ni es un azúcar reductor. Se hidroliza con más facilidad que los otros disacáridos. La hidrólisis de la sacarosa a D-glucosa y D-fructosa se denomina frecuentemente inversión, ya que va acompañada de un cambio neto de rotación óptica, de dextrógira a levógira. La hidrólisis de la sacarosa, que también es catalizada por el enzima invertasa, puede seguirse mediante un polarímetro.

Figura 1. **Estructura de la sacarosa**



Fuente: RAMÍREZ, J. *Determinación de sacarosa invertida por efecto de recirculación de jugo clarificado de caña de azúcar, en un evaporador de placas de película descendente.* p. 12.

1.1.3.2. **Azúcares reductores**

Algunos azúcares tienen la propiedad de oxidarse en presencia de agentes oxidantes suaves como el ion Fe^{+3} o Cu^{+2} . Esta característica radica en la presencia de un grupo carbonilo libre, el cual es oxidado y genera un grupo carboxilo. Por lo tanto, aquellos azúcares con un grupo carbonilo libre son llamados azúcares reductores y aquellos en los que el grupo carbonilo se encuentra combinado en unión glucosídica se conocen como azúcares no reductores. Entre los azúcares reductores más comunes se encuentra la glucosa, fructosa, lactosa y maltosa que presentan un carbono libre en su estructura y pueden reducir, en determinadas condiciones, a las sales cúpricas.

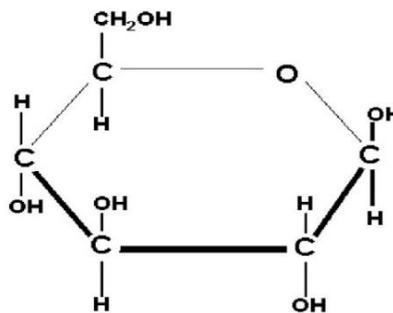
1.1.3.2.1. **Glucosa**

La glucosa es metabólicamente el azúcar más importante en las plantas y animales. Sólo en la porción en crecimiento activo de la planta el contenido de glucosa excede el de la sacarosa. Al comienzo de la zafra el contenido de glucosa del jugo es alto y disminuye con la madurez. A pesar de que cantidades iguales

de glucosa y fructosa están implicadas en la hidrólisis y condensación de la sacarosa, la relación dextrosalevulosa raras veces es igual en el jugo crudo.

La fórmula empírica de la glucosa es $C_6H_{12}O_6$ y el peso molecular es 180,2 g/mol. La glucosa es menos soluble en agua que la sacarosa, es soluble en etanol e insoluble en éter. Las moléculas de glucosa se condensan de diferente manera para formar almidón, dextrana y celulosa.

Figura 2. **Estructura de la glucosa**



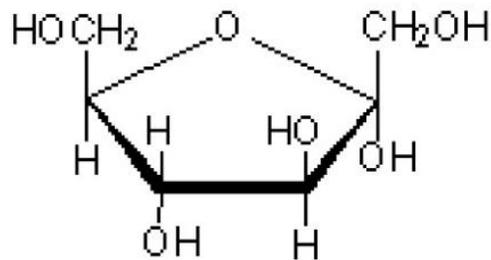
Fuente: RAMÍREZ, J. *Determinación de sacarosa invertida por efecto de recirculación de jugo clarificado de caña de azúcar, en un evaporador de placas de película descendente.* p. 14.

1.1.3.2.2. **Fructosa**

Conocida como azúcar de frutas. La fructosa es más dulce que la sacarosa y la glucosa; de las tres es la menos abundante en la caña. A semejanza de la glucosa, es más abundante en las partes en crecimiento de la planta y menos abundante en la parte inferior del tallo y las raíces. La fructosa disminuye en la maduración y puede ser imposible detectar en algunas variedades de alta pureza en la madurez.

La fórmula empírica de la fructosa es la misma que la glucosa ($C_6H_{12}O_6$) y el peso molecular es de 180,2 g/mol. La fructosa es muy soluble en agua y ligeramente soluble en etanol. Igual que la glucosa, la fructosa es un azúcar reductor, pero posee un grupo cetona en lugar de un grupo aldehído.

Figura 3. **Estructura de la fructuosa**



Fuente: RAMÍREZ, J. *Determinación de sacarosa invertida por efecto de recirculación de jugo clarificado de caña de azúcar, en un evaporador de placas de película descendente.* p. 15.

1.2. **Concreto**

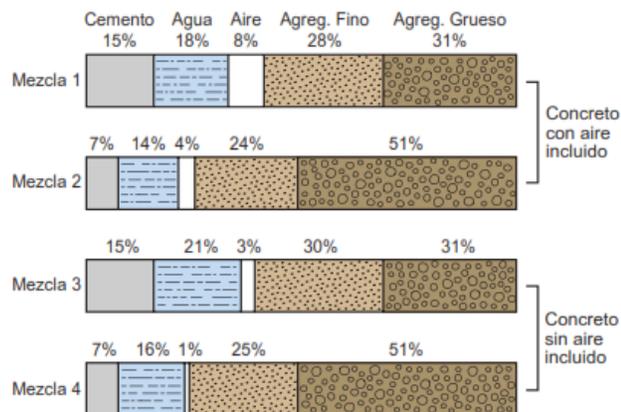
El concreto (hormigón) es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta compuesta de cemento y agua une los agregados, normalmente arena y grava (piedra triturada, piedra machacada, pedrejón), creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua. Otros materiales cementantes (cementicios, cementosos) y adiciones minerales se pueden incluir en la pasta.

Generalmente los agregados se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos pueden ser arena natural o artificial (manufacturadas) con partículas de hasta 9,5 mm (3/8 pulg), agregados gruesos son las partículas

retenidas en la malla 4,78 mm (tamiz no.4) y pueden llegar hasta 150 mm (6 pulg). El tamaño máximo del agregado grueso comúnmente empleado es 19 mm o 25 mm (3/4 pulg o 1 pulg). La pasta se compone de materiales cementantes, agua y aire atrapado o aire incluido (intencionalmente incorporado). La figura 4 muestra que el volumen absoluto del cemento está normalmente entre 7 % y 15 % y el volumen del agua está entre 14 % y 21 %.

Como los agregados constituyen aproximadamente del 60 % al 75 % del volumen total del concreto, su selección es muy importante. Los agregados deben componerse de partículas con resistencia mecánica adecuada y con resistencia a las condiciones de exposición y no deben contener materiales que puedan causar deterioro del concreto. La granulometría continua de tamaño de partículas es deseable para el uso eficiente de la pasta.

Figura 4. **Variación de las proporciones usadas en concreto**



Fuente: KOSMATKA, Steven; y otros. *Diseño y control de mezclas de concreto*. p. 1.

La calidad del concreto depende de la calidad de la pasta, del agregado y de la unión entre los dos. En un concreto adecuadamente diseñado, cada y toda partícula de agregado es completamente cubierta por la pasta y todos los

espacios entre las partículas de agregados se llenan totalmente con pasta. Para cualquier grupo de materiales y condiciones de curado, la calidad del concreto endurecido es fuertemente influenciada por la cantidad de agua usada con relación a la cantidad de cemento. Cuando grandes cantidades de agua son innecesariamente empleadas, ellas diluyen la pasta de cemento.

Las ventajas de la disminución de la cantidad de agua son:

- Aumento de la resistencia.
- Disminución de la permeabilidad, entonces disminución de la absorción y aumento de la estanquidad (hermeticidad).
- Aumento de la resistencia a la intemperie.
- Mejor unión entre concreto y armadura.
- Reducción de la contracción y de la fisuración.
- Menores cambios de volumen causado por el humedecimiento y el secado.

Cuanta menos agua se usa, mejor es la calidad del concreto, si es que la mezcla se puede consolidar adecuadamente. Menores cantidades de agua de mezcla resultan en mezclas más rígidas (secas), pero con vibración aún las mezclas más rígidas pueden ser fácilmente colocadas. Por lo tanto, la consolidación por vibración permite una mejoría de la calidad del concreto.

1.2.1. Propiedades generales del concreto

El concreto presenta 2 estados fundamentales desde el punto de vista práctico: el estado fresco o plástico, en el que admite ser manipulado para su adaptación a los encofrados previstos; y el estado endurecido en el que ha adquirido una rigidez, tal que impide su manipulación sin producir fracturas

visibles o no irreversibles. Estos estados son sinónimos de la fase de colocación en obra y de uso.

El concreto fresco es el producto inmediato del amasado de sus componentes. Desde el primer momento se están produciendo en su masa reacciones químicas que condicionan sus características finales como material endurecido. Reacciones que se prolongan sustancialmente hasta unos años después de su amasado. El concreto fresco es una masa heterogénea de fases sólidas, líquidas y gaseosas que se distribuyen en igual proporción si está bien amasado.

El concreto endurecido se manifiesta a partir del fraguado final. El concreto endurecido se compone del árido, la pasta de cemento endurecido (que incluye el agua que ha reaccionado con los compuestos del cemento) y la red de poros abiertos o cerrados, resultado de la evaporación del agua sobrante, el aire incluido (natural o provocado por un aditivo).

Las propiedades generales del concreto fresco y endurecido son:

1.2.1.1. Trabajabilidad

La facilidad de colocación, consolidación y acabado del concreto fresco y el grado que resiste a la segregación se llama trabajabilidad. El concreto debe ser trabajable pero los ingredientes no deben separarse durante el transporte y el manejo. El grado de la trabajabilidad que se requiere para una buena colocación del concreto se controla por los métodos de colocación, tipo de consolidación y tipo de concreto. Los diferentes tipos de colocación requieren diferentes niveles de trabajabilidad.

Los factores que influyen en la trabajabilidad del concreto son:

- El método y la duración del transporte
- Cantidad y características de los materiales cementantes
- Consistencia del concreto (asentamiento en cono de Abrams o revenimiento)
- Tamaño, forma y textura superficial de los agregados finos y gruesos
- Aire incluido (aire incorporado)
- Cantidad de agua
- Temperatura del concreto y del ambiente
- Aditivos

La distribución uniforme de las partículas de agregado y la presencia de aire incorporado ayudan considerablemente en el control de la segregación y en la mejoría de la trabajabilidad.

1.2.1.1.1. Consistencia

Es considerada una buena indicación de trabajabilidad. El revenimiento (asentamiento en cono de Abrams) se usa como medida de la consistencia y de la humedad del concreto. Un concreto de bajo revenimiento tiene una consistencia rígida o seca. Si la consistencia es muy seca y rígida, la colocación y compactación del concreto serán difíciles y las partículas más grandes de agregados pueden separarse de la mezcla. Sin embargo, no debe suponerse que una mezcla más húmeda y fluida es más trabajable. Si la mezcla es muy húmeda, pueden ocurrir segregación y formación de huecos. La consistencia debe ser lo más seca posible para que aún se permita la colocación empleándose los equipos de consolidación disponibles.

1.2.1.2. Sangrado y asentamiento

Sangrado (exudación) es el desarrollo de una lámina de agua en el tope o en la superficie del concreto recién colocado. Es causada por la sedimentación (asentamiento) de las partículas sólidas (cemento y agregados) y simultáneamente la subida del agua hacia la superficie. El sangrado es normal y no debería disminuir la calidad del concreto adecuadamente colocado, acabado y curado. Un poco de sangrado es útil en el control de la fisuración por contracción (retracción) plástica.

Por otro lado, si es excesiva aumenta la relación agua-cemento cerca de la superficie, puede ocurrir una capa superficial débil y con poca durabilidad, particularmente si se hace el acabado cuando el agua de sangrado aún está presente. Los vacíos y bolsas de agua pueden ocurrir resultantes del acabado prematuro de la superficie. Después que toda el agua de sangrado se evapore, la superficie endurecida va a quedar un poco más baja que la superficie recién colocada. Esta disminución de la altura desde el momento de la colocación (puesta, colado) hasta el inicio del fraguado se llama contracción (retracción) por sedimentación.

1.2.1.3. Resistencia

Como material estructural, estas características son generalmente las que determinan su aptitud para el uso que se le desee dar. Los principales factores que afectan la resistencia son la relación agua-cemento y la edad o el grado al que haya progresado la hidratación. La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial compresiva. Generalmente se expresa en el sistema inglés (libras por pulgada cuadrada) o en el sistema internacional de medidas

(kilogramos por centímetro cuadrado), a una edad de 28 días, se le designa con el símbolo f'_c .

1.2.1.3.1. Resistencia a compresión

La resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia al aplicar carga axial de especímenes de concreto, alcanzando la máxima a una edad de 28 días. Se pueden usar otras edades para las pruebas, pero es importante saber la relación entre la resistencia a los 28 días y la resistencia en otras edades. La resistencia a los 7 días normalmente se estima como 75 % de la resistencia de diseño y las resistencias a los 56 y 90 días son aproximadamente 10 % y 15 % mayores que la resistencia a los 28 días. La resistencia a compresión especificada se designa con el símbolo f'_c y la resistencia a compresión real del concreto f_c debe excederla. La resistencia a compresión que el concreto logra, f_c , es función de la relación agua-cemento (o relación agua-materiales cementantes), de cuanto la hidratación ha progresado, del curado, de las condiciones ambientales y de la edad del concreto.

La determinación de la resistencia a compresión se obtiene a través de ensayos (experimentación, prueba) en probetas (muestras de prueba, muestras de ensayo, especímenes) de concreto o mortero. A menos que sea especificado de manera diferente, los ensayos en mortero se hacen en cubos de 50 mm (2 pulg), mientras que los ensayos en concreto se realizan en cilindros de 150 mm (6 pulg) de diámetro y 300 mm (12 pulg) de altura. Cilindros menores 100 mm x 200 mm (4 pulg x 8 pulg) también se pueden usar para el concreto. La resistencia a compresión es una propiedad principalmente mecánica y frecuentemente usada en los cálculos para diseño de puentes, edificios y otras estructuras.

1.2.1.3.2. Relación agua-cemento

Establece que para una combinación dada de materiales (y mientras se obtenga una consistencia manejable), la resistencia del concreto a cierta edad depende de la relación del peso del agua de la mezcla al peso del cemento. En otras palabras, si la relación de agua a cemento es fija, la resistencia del concreto a una determinada edad es también esencialmente fija. Mientras la mezcla sea elástica y manejable y el agregado sólido, durable y libre de materiales dañinos. Mientras que la resistencia depende de la relación agua-cemento, la economía depende del porcentaje de agregado presente, el cual dará una mezcla manejable.

El objetivo del diseñador siempre será el de tener mezclas de concreto de resistencia óptima a un contenido de cemento mínimo y aceptable manejabilidad. Entre más baja sea la relación agua-cemento mayor será la resistencia del concreto.

1.2.1.3.3. Resistencia a tensión

La resistencia a la tensión (resistencia a tracción, resistencia en tracción) directa del concreto es aproximadamente de 8 % a 12 % de la resistencia a compresión y se estima normalmente como siendo de 0,4 a 0,7 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en mega Pascales o de 1,3 a 2,2 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en kilogramos por centímetro cúbico (5 a 7,5 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en libras por pulgada cuadrada). La resistencia a esfuerzos por cortante (cisallamiento, corte o cizalladura) es del 8 % al 14 % de la resistencia a compresión

1.2.1.3.4. Resistencia a flexión

La resistencia a flexión o el módulo de ruptura (rotura) se usa en el diseño de pavimentos u otras losas (pisos, placas) sobre el terreno. La resistencia a compresión, la cual es más fácil de medir que la resistencia a flexión, se puede usar como un índice de resistencia a flexión, una vez que la relación empírica entre ambas ha sido establecida para los materiales y los tamaños de los elementos involucrados. La resistencia a flexión de concretos de peso normal es normalmente de 0,7 a 0,8 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en mega Pascales o de 1,99 a 2,65 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en kilogramos por centímetros cuadrados (7,5 a 10 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en libras por pulgadas cuadradas).

1.2.1.4. Densidad

El concreto convencional, normalmente usado en pavimentos, edificios y otras estructuras, tiene masa volumétrica (masa unitaria, densidad) que varía de 2 200 kg/m³ hasta 2 400 kg/m³ (137 libras/pie³ hasta 150 libras/pie³). La masa volumétrica del concreto varía dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento. Por otro lado, el tamaño máximo del agregado influye en las cantidades de agua y cemento. Al reducirse la cantidad de pasta (aumentándose la cantidad de agregado), se aumenta la masa volumétrica.

En el diseño del concreto armado (reforzado), la masa volumétrica de la combinación del concreto con la armadura (refuerzo) normalmente se considera 2 400 kg/m³ (150 libras/pie³). El peso del concreto seco es igual al peso de los materiales del concreto fresco menos el peso del agua de mezclado evaporable.

Parte del agua de la mezcla combina químicamente con el cemento durante el proceso de hidratación, transformando el cemento en un gel de cemento. Además, parte del agua permanece fuertemente retenida en los poros y en los capilares y no se evapora bajo las condiciones normales. La cantidad del agua de mezclado que se evaporará del concreto expuesto en un medio ambiente con humedad relativa del 50 % es cerca de 0,5 % al 3 % del peso del concreto. La cantidad real depende del contenido inicial de agua, de las características de absorción de los agregados y del tamaño y forma de los miembros del concreto.

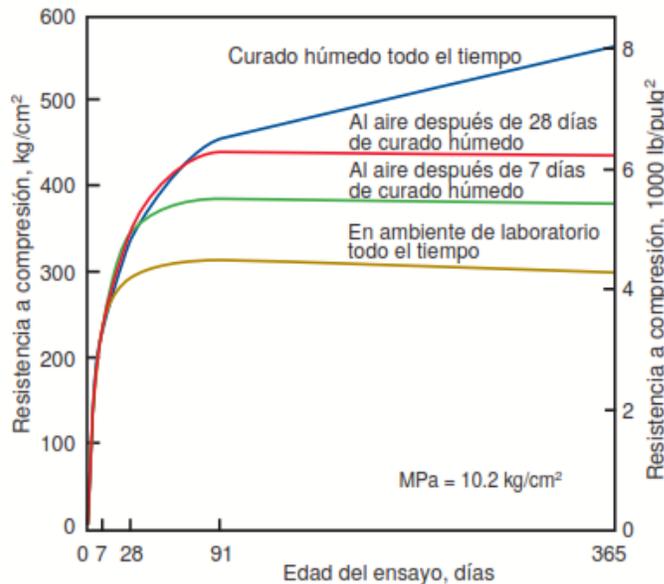
1.2.1.5. Durabilidad

Es la habilidad del concreto para resistir la acción del ambiente, al ataque químico y a la abrasión, manteniendo sus propiedades mecánicas de ingeniería. Los diferentes tipos de concreto necesitan de diferentes durabilidades, dependiendo de la exposición al ambiente y de las propiedades deseables. Los componentes del concreto, la proporción de estos, la interacción entre los mismos y los métodos de colocación y curado determinan la durabilidad final y la vida útil del concreto.

1.2.2. Curado del concreto

El aumento de la resistencia con la edad continúa desde que: el cemento no hidratado aún esté presente, el concreto permanezca húmedo o la humedad relativa del aire esté arriba de aproximadamente 80 %, la temperatura del concreto permanezca favorable y haya suficiente espacio para la formación de los productos de hidratación. Cuando la humedad relativa dentro del concreto baja hasta cerca de 80 % o la temperatura del concreto baja a menos del cero, la hidratación y la ganancia de resistencia se interrumpen. La figura 5 enseña la relación entre incremento de resistencia y curado.

Figura 5. **Relación del tiempo de curado con la resistencia**



Fuente: KOSMATKA, Steven; y otros. *Diseño y control de mezclas de concreto*. p. 6.

Si se vuelve a saturar el concreto después del período de secado, la hidratación empieza nuevamente y la resistencia vuelve a aumentar. Sin embargo, es mucho mejor que el curado húmedo sea aplicado continuamente desde el momento de la colocación hasta que el concreto haya alcanzado la calidad deseada; una vez que el concreto se haya secado completamente, es muy difícil volver a saturarlo. La exposición al aire libre normalmente proporciona humedad a través del contacto con el suelo y la lluvia. Los concretos en ambientes internos normalmente secan completamente después del curado y no continúan desarrollando resistencia (figura 5).

El concreto no se endurece o se cura con el secado, el concreto (o más precisamente el cemento) necesita de humedad para hidratarse y endurecerse. Cuando el concreto se seca, la resistencia ya no aumenta; el secado no indica

que haya ocurrido suficiente hidratación para que se obtengan las propiedades físicas deseables. Al secarse el concreto se retrae por la pérdida de agua, de la misma manera que ocurre con la madera y la arcilla (pero no tanto). La contracción por secado es la principal causa de fisuración y el ancho de las fisuras (grietas, rajaduras) es función del grado de desecación, espaciamiento y frecuencia de las fisuras y edad de la aparición de las fisuras.

1.2.3. Velocidad de endurecimiento

El tiempo de fraguado o velocidad de endurecimiento del concreto es un período en el cual, mediante reacciones químicas del cemento y el agua, conducen a un proceso, que mediante diferentes velocidades de reacción, generan calor y dan origen a nuevos compuestos; estos en la pasta de cemento generan que este endurezca y aglutine al agregado de la mezcla de concreto y se ponga fuerte y denso, adquiriendo de este modo una cierta resistencia; este tiempo es de suma importancia, debido a que permite colocar y acabar el concreto.

Típicamente, el fraguado inicial ocurre entre 2 y 4 horas después del mezclado, y define el límite de manejo, o sea el tiempo por el cual el concreto fresco ya no puede ser mezclado adecuadamente, colocado y compactado; el fraguado final ocurre entre 4 y 8 horas después del mezclado y está definido por el desarrollo de la resistencia que se genera con gran velocidad. El fraguado inicial y el fraguado final se determinan arbitrariamente por el ensayo de resistencia a la penetración.

El método usado, es la Norma ASTM C-403, *Test for time of setting of concrete mixtures by penetration resistance* (Método de prueba estándar para el tiempo de fraguado de mezclas de hormigón por resistencia a la penetración),

que proporciona un procedimiento estándar para la medición del tiempo de fraguado del concreto con un revenimiento mayor de cero, probando el mortero cribado de la mezcla de concreto; en forma breve se puede decir que la prueba consiste en retirar la fracción de mortero del concreto, compactándolo en un recipiente estándar y midiendo la fuerza requerida para hacer que una aguja penetre 25 milímetros en el concreto, cada hora o media hora, según el tiempo escogido.

1.2.4. Ensayos a concreto fresco

Para controlar la calidad del concreto durante la ejecución, las pruebas de revenimiento, contenido de aire y temperatura se requieren en las especificaciones del proyecto para el control de calidad del concreto; mientras que la masa volumétrica es más útil en el diseño de la mezcla.

1.2.4.1. Revenimiento

El ensayo de revenimiento o asentamiento del cono de Abrams, ASTM C-143, es el método más ampliamente aceptado y utilizado para medir la consistencia del concreto (figura 6). El equipo de prueba consiste en un cono de revenimiento (molde cónico de metal 300 mm [12 pulg] de altura, con 200 mm [8 pulg] de diámetro de base y 100 mm [4 pulg] de diámetro de la parte superior) y una varilla de metal con 16 mm de diámetro (5/8 pulg) y 600 mm (24 pulg) de longitud con una punta de forma semiesférica.

El cono húmedo, colocado verticalmente sobre una superficie plana, rígida y no absorbente, se debe llenar en tres capas de volúmenes aproximadamente iguales. Por lo tanto, se debe llenar el cono hasta una profundidad de 70 mm (2 ½ pulg) en la primera capa, una profundidad de 160 mm (6 pulg) en la segunda

y la última capa se debe sobrellenar. Se aplican 25 golpes en cada capa, después de los golpes, se enrasa la última capa y se levanta el cono lentamente aproximadamente 300 mm (12 pulg) en 5 ± 2 segundos.

A medida que el concreto se hunde o se asienta en una nueva altura, se invierte el cono vacío y se lo coloca gentilmente cerca del concreto asentado. El revenimiento o el asentamiento es la distancia vertical que el concreto se ha asentado, medida con una precisión de 5 mm (0,25 pulg). Se usa una regla para medir de la parte superior del molde del cono hasta el centro original desplazado del concreto asentado (figura 6). Un valor más elevado de revenimiento (asentamiento) es indicativo de un concreto más fluido. Todo el ensayo hasta la remoción del cono se debe completar en 2,5 minutos, pues el concreto pierde revenimiento con el tiempo. Si hay desmoronamiento de una parte del concreto se debe realizar otra prueba con otra porción de la muestra.

Figura 6. **Ensayo de revenimiento**



Fuente: KOSMATKA, Steven; y otros. *Diseño y control de mezclas de concreto*. p. 330.

1.2.4.2. Temperatura

Como la temperatura del concreto tiene una gran influencia sobre las propiedades tanto del concreto fresco como del endurecido, muchas especificaciones limitan la temperatura del concreto fresco. El termómetro debe tener precisión de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1^{\circ}\text{F}$) y debe permanecer en una muestra representativa de concreto, por lo menos, 2 minutos o hasta que la lectura se estabilice.

Un mínimo de 75 mm de concreto debe rodear la porción sensitiva del termómetro. También están disponibles los medidores de temperatura electrónicos con lectura digital. La medición de la temperatura ASTM C-1064 se debe terminar en un período de 5 minutos después de tomada la muestra.

1.2.4.3. Peso unitario

La masa volumétrica (masa unitaria) y el rendimiento del concreto fresco se determinan de acuerdo con ASTM C-138. Los resultados deben ser suficientemente precisos para determinar la cantidad volumétrica (rendimiento) del concreto producido en cada mezcla. Se requiere una balanza o una báscula con precisión de 0,3 % de la masa prevista de la muestra y del recipiente. El tamaño del recipiente empleado en la determinación de la masa volumétrica y del rendimiento varía con el tamaño del agregado. El recipiente con capacidad de 7 litros se puede utilizar con agregados de hasta 25 mm (1 pulg), mientras que el recipiente de 14 litros se usa con agregados de hasta 50 mm (2 pulg).

El recipiente se debe calibrar por lo menos una vez al año (ASTM C-1077) se debe tener cuidado para consolidar el concreto adecuadamente, sea a través de golpes, o de vibración interna. Se debe utilizar una placa plana para enrasar

la superficie superior del concreto a fin de que el recipiente esté lleno y con acabado plano y liso.

1.2.4.4. Contenido de aire

Se pueden utilizar varios métodos para medir el contenido de aire del concreto fresco. Las normas incluyen el método por presión (ASTM C-231). El método por presión (figura 7) se basa en la ley de Boyle la cual relaciona presión y volumen. Muchos medidores de aire comercialmente disponibles están calibrados para leer contenido de aire directamente cuando se aplica una presión predeterminada. La presión aplicada comprime el aire dentro de la muestra de concreto, incluyendo el aire en los poros de los agregados. Por esta razón, las pruebas por este método no son adecuadas para medir el contenido de aire de concretos producidos con algunos agregados ligeros (livianos) u otros materiales muy porosos.

Los factores de corrección del agregado, el cual compensa el aire atrapado (aire ocluido) en los agregados de peso normal son relativamente constantes y, a pesar de pequeños, se los debe substraer de la lectura en el medidor de presión para obtener el contenido de aire correcto. Se debe calibrar el equipo para varias altitudes sobre el nivel del mar, si se lo va a utilizar en sitios que tengan diferencia en altitudes considerables.

Algunos medidores usan cambio de presión de un volumen conocido de aire y no se afectan por los cambios de altitudes. Los medidores de presión son ampliamente usados porque no hay necesidad de conocerse las proporciones de la mezcla ni la gravedad específica de los ingredientes del concreto. Además, se puede realizar esta prueba en menos tiempo de lo requerido por otros métodos.

Figura 7. **Ensayo contenido de aire por el método de presión**



Fuente: KOSMATKA, Steven; y otros. *Diseño y control de mezclas de concreto*. p. 332.

El método volumétrico, presentado en la Norma ASTM C-173 requiere la remoción del aire de un volumen conocido de concreto, a través de la agitación del concreto dentro de un exceso de agua. Se puede utilizar este método para concretos que contengan cualquier tipo de agregado, incluyendo el ligero o materiales porosos.

El factor de corrección no es necesario en este ensayo. Además, esta prueba no se afecta por la presión atmosférica y no hay necesidad del conocimiento de la gravedad específica de los materiales. Se debe tener cuidado para agitar suficientemente la muestra para la remoción completa del aire. La adición de 500 mL de alcohol acelera la remoción del aire, disminuyendo el tiempo de la prueba, además de dispersar la mayor parte de la espuma y aumentar la precisión del ensayo, incluyendo aquellos realizados en concretos con altos contenidos de aire o de cemento.

El método gravimétrico utiliza el mismo equipo empleado para la determinación de la masa volumétrica del concreto. La masa volumétrica medida del concreto se sustrae de la masa volumétrica teórica, la cual se determina de los volúmenes absolutos de los ingredientes, asumiéndose que no hay aire presente. La diferencia que se expresa en porcentaje de la masa volumétrica teórica es el contenido de aire. Tanto las proporciones de la mezcla como las masas específicas relativas de los materiales se deben conocer con gran precisión, para que se eviten errores en los resultados. Consecuentemente, este método es adecuado sólo en el control del laboratorio. Los cambios considerables en la masa volumétrica pueden ser una manera conveniente de detectar la variabilidad del contenido de aire.

1.2.4.5. Elaboración de cilindros

Los especímenes (probetas) moldeados para los ensayos de resistencia se deben preparar de acuerdo con la Norma ASTM C-31 (probetas moldeadas en la obra) o ASTM C-192 (probetas moldeadas en el laboratorio). La preparación de los especímenes debe empezar como máximo 15 minutos después de la obtención de la muestra del concreto. La probeta estándar para la resistencia a compresión del concreto con agregado de dimensión máxima de 50 mm (2 pulg) o menor es un cilindro de 150 mm (6 pulg) de diámetro por 300 mm (12 pulg) de altura. Para agregados mayores, el diámetro del cilindro debe ser, por lo menos, tres veces mayor que la dimensión máxima del agregado y la altura debe ser dos veces el diámetro. Aunque se prefieren los moldes metálicos rígidos, se puede usar moldes de plástico, de cartón parafinado u otro tipo de molde desechable.

Se deben colocar los moldes sobre una superficie lisa, nivelada y rígida y se les deben llenar cuidadosamente para evitar distorsiones en su forma. El molde de cilindro con 100 mm (4 pulg) de diámetro por 200 mm (8 pulg) de altura

está siendo utilizado comúnmente para los concretos de alta resistencia. El cilindro de 100 mm x 200 mm (4 pulg x 8 pulg) es más fácil de moldear, requiere menos muestra, pesa mucho menos que el cilindro de concreto de 150 mm x 300 mm (6 x 12 pulg) y, por lo tanto, es más fácil de manejarlo y requiere menos espacio para su curado húmedo. La diferencia en la resistencia indicada entre los dos tamaños de cilindro es insignificante.

Las vigas para el ensayo de resistencia a flexión tienen normalmente 150 mm x 150 mm (6 pulg x 6 pulg) de sección transversal para concretos con agregados de hasta 50 mm (2 pulg). Cuando se utilizan agregados mayores que estos, la dimensión mínima de sección transversal no debe ser menor que tres veces la dimensión máxima del agregado. La longitud de las vigas debe ser, por lo menos tres veces la profundidad de la viga más 50 mm (2 pulg).

Los cilindros de prueba que se compactan con golpes (revenimiento de 25 mm, 1 pulg o más) se deben llenar en tres capas aproximadamente iguales y cada capa debe recibir 25 golpes en los cilindros de 150 mm (6 pulg) de diámetro, mientras que las vigas con hasta 200 mm (8 pulg) de profundidad se deben llenar en dos capas, golpeándolas con una varilla de 16 mm [5/8 pulg] de diámetro una vez por capa para cada 1 400 mm² (2 pulg²) de área de superficie superior. Si la varilla deja agujeros, los lados de los moldes se deben golpear ligeramente con un martillo de goma o con la mano abierta.

Los cilindros que son vibrados se deben llenar en dos capas con una inserción por capa en los cilindros de 100 mm (4 pulg) de diámetro y dos inserciones en los cilindros de 150 mm (6 pulg) de diámetro. Las vigas con más de 200 mm (8 pulg) de profundidad y los cilindros con profundidad de 300 a 450 mm (12 a 18 pulg), que se van a vibrar (revenimiento menor o igual a 75 mm o 3 pulg), se deben llenar en dos capas y vigas con profundidad de 150 mm a

200 mm (6 pulg a 8 pulg), que se van a vibrar, se pueden llenar en una capa. Los vibradores internos deben tener un ancho máximo de no más que 1/3 del ancho de las vigas o 1/4 inmediatamente después del llenado, la parte superior del espécimen debe:

- Cubrirse con un vidrio o placa de acero aceitado
- Sellarse con una bolsa de plástico
- Sellarse con una cubierta de plástico

La resistencia de los especímenes de prueba se puede afectar considerablemente con golpes, cambios de temperatura y exposición al secado, principalmente en las primeras 24 horas después de su moldeo. Por lo tanto, los especímenes de prueba se deben colar en sitios donde no sean necesarios movimientos y donde sea posible su protección. Los cilindros y las vigas se deben proteger contra manejos bruscos a cualquier edad. Es importante acordarse de identificar los especímenes en la parte externa de los moldes para prevenir confusión y errores en la información. Los procedimientos normalizados de prueba requieren que las probetas se curen bajo condiciones controladas.

El curado controlado en el laboratorio en un cuarto húmedo o en un tanque de almacenamiento con agua de cal proporciona una indicación precisa de la calidad del concreto entregado. El agua de cal debe estar saturada de cal hidratada, no cal agrícola, de acuerdo con la Norma ASTM C-511 para prevenir la lixiviación de la cal del espécimen de concreto. Las probetas curadas en la obra, de la misma manera que la estructura, representan más fielmente la resistencia real del concreto en la estructura en la edad del ensayo, pero proporcionan poca indicación si la deficiencia se debe a la calidad del concreto entregado o al manejo y curado inadecuados.

En algunos proyectos, las probetas curadas en el campo se producen complementariamente a las probetas destinadas al curado controlado en el laboratorio, siendo muy útiles, principalmente, cuando el clima no es favorable para determinar cuándo se pueden remover las cimbras (encofrados) o cuando se puede poner la estructura en uso.

1.2.5. Ensayos al concreto endurecido

En el concreto es importante contar con información de su desempeño en estado endurecido, tal como su resistencia a compresión y flexión, por medio de ensayos a muestras en laboratorios especializados para el ensayo a materiales de construcción efectuados por personal capacitado. Entre los ensayos que debe realizarse al concreto en estado endurecido, se encuentran los siguientes:

1.2.5.1. Resistencia a compresión

Se debe utilizar el equipo y procedimiento descrito en la Norma ASTM C-39 (Prueba estándar para resistencia a compresión de probetas cilíndricas de concreto). Se ensayan dos testigos cuya altura sea el doble de su diámetro (generalmente se fabrican probetas de 15 x 30 centímetros) para poder tener un resultado acertado. Si la relación longitud/diámetro (L/D) es 1,75 o menos, el esfuerzo a compresión se debe multiplicar por un factor.

Tabla I. **Factores de corrección**

Factores de corrección				
L/D	1,75	1,5	1,25	1,00
Factor	0,98	0,96	0,93	0,87

Fuente: Norma ASTM C-39.

Los especímenes de ensayo deben ser mantenidos húmedos por cualquier método conveniente durante el período previo al ensayo. Deben ser ensayados en condición húmeda. Todos los especímenes de ensayo para una edad determinada deben romperse dentro de las tolerancias de tiempo admisibles (tabla II).

Tabla II. **Edad de ensayo y tolerancia admisible**

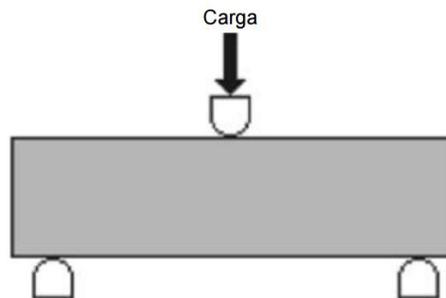
Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 horas	± 0.5 horas o 2,1 %
3 días	2 horas o 2,8 %
7 días	6 horas o 3,6 %
28 días	20 horas o 3,0 %
90 días	2 días o 2,2 %

Fuente: Norma ASTM C-39

1.2.5.2. Resistencia a flexión

Los resultados de este método pueden ser usados para determinar el cumplimiento de especificaciones o como una base para determinar el proporcionamiento de la mezcla y las operaciones de mezclado y colocación del concreto. Este ensayo se utiliza en la evaluación de concretos para la construcción de losas y pavimentos. El módulo de rotura determinado por la viga cargada en los puntos tercios es más bajo que el módulo de rotura determinado por la viga cargada en el punto medio, en algunas ocasiones tanto como en un 15 %.

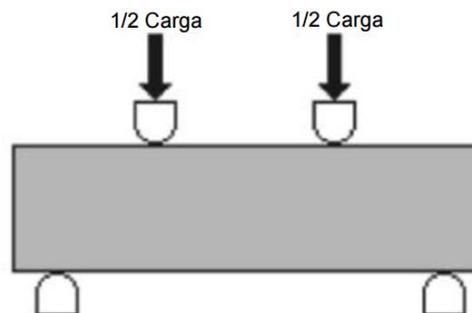
Figura 8. **Flexión en centro de la viga**



Fuente: elaboración propia.

La Norma ASTM C-293 indica la carga en el punto medio. Toda la carga se aplica en el centro de la luz, el módulo de rotura será mayor que en el ensayo de la carga en los puntos tercios (figura 8). La tensión máxima se da en el centro de la viga.

Figura 9. **Flexión en los tercios de la viga**



Fuente: elaboración propia.

La Norma ASTM C-78 indica las cargas en los puntos tercios. La mitad de la carga se aplica en cada tercio de la luz (figura 9). La tensión máxima se da en el tercio medio de la viga.

1.2.5.3. Carbonatación

La profundidad o el grado de carbonatación se pueden determinar por técnicas petrográficas (ASTM C-856) a través de la observación del carbonato de calcio el principal producto químico de la carbonatación. Además, se puede utilizar la prueba de color de fenolftaleína para estimar la profundidad de la carbonatación a través de la prueba de pH del concreto (la carbonatación reduce el pH). Con la aplicación de la solución de fenolftaleína en la superficie recién fracturada o cortada, las áreas no carbonatadas se vuelven rojas o moradas mientras que las áreas carbonatadas no cambian de color (figura 10). Cuando el indicador de fenolftaleína es observado contra una pasta endurecida, cambia de color en el pH de 9,0 a 9,5. El pH de un buen concreto, no carbonatado y sin aditivos, es normalmente mayor que 12,5.

Figura 10. Prueba de color



Fuente: KOSMATKA, Steven; y otros. *Diseño y control de mezclas de concreto*. p. 345.

1.2.6. Aditivos

Los aditivos son aquellos materiales del concreto que, además del cemento portland, del agua y de los agregados, se adicionan a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado. Las razones principales para el uso de aditivos son:

- Reducción del costo de la construcción de concreto.
- Obtención de ciertas propiedades en el concreto de manera más efectiva que otras.
- Mantener la calidad del concreto durante las etapas de mezclado, transporte, colado (colocación) y curado en condiciones de clima adverso.
- Superación de ciertas emergencias durante las operaciones de mezclado, transporte, colocación y curado.

A pesar de estas consideraciones, se debe observar que ningún aditivo de cualquier tipo o en cualquier cantidad se lo puede considerar como un sustituto de las buenas prácticas de construcción. La eficiencia de un aditivo depende de factores tales como: tipo, marca y cantidad del material cementante; contenido de agua; forma, granulometría y proporción de los agregados; tiempo de mezclado y temperatura del concreto.

1.2.6.1. Tipos de aditivos

Los aditivos se pueden clasificar según sus funciones, como sigue:

- Aditivos incorporadores de aire (inclusores de aire)
- Aditivos reductores de agua
- Plastificantes (fluidificantes)
- Aditivos aceleradores (acelerantes)

- Aditivos retardadores (retardantes)
- Aditivos de control de la hidratación

1.2.6.1.1. Inclusiones de aire

Los aditivos inclusiones de aire (incorporadores de aire) se usan para introducir y estabilizar, de propósito, burbujas microscópicas de aire en el concreto. El inductor de aire mejora considerablemente la durabilidad de concretos expuestos a ciclos de congelación y deshielo. También se mejora la trabajabilidad del concreto fresco y se reducen o eliminan, tanto la segregación como el sangrado (exudación). El concreto con aire incluido contiene diminutas burbujas de aire distribuidas uniformemente por toda la pasta de cemento.

1.2.6.1.2. Reductores de agua

Los aditivos reductores de agua se usan para disminuir la cantidad de agua de mezcla necesaria para la producción de un concreto con un revenimiento específico, para reducir la relación agua-cemento, para disminuir el contenido de cemento y para aumentar el revenimiento. Los reductores de agua típicos disminuyen el contenido de agua aproximadamente del 5 % al 10 %. La adición al concreto del aditivo reductor de agua sin la reducción del contenido de agua puede producir una mezcla con mayor revenimiento.

Con los aditivos reductores de agua normalmente se obtiene un aumento de la resistencia porque se disminuye la relación agua-cemento. En concretos con los mismos contenidos de cemento, aire y revenimiento, la resistencia a los 28 días de un concreto conteniendo un reductor de agua (y reducción de la cantidad de agua) puede ser del 10 % al 25 % mayor que la resistencia de un concreto sin aditivo. A pesar de la reducción del contenido de agua, los aditivos

reductores de agua pueden aumentar la retracción por secado (contracción por desecación). La eficiencia de los reductores de agua es función de su composición química, temperatura del concreto, finura y composición del cemento, del contenido de cemento y de la presencia de otros aditivos.

1.2.6.1.3. Superplastificantes para concretos fluidos

Estos aditivos se adicionan al concreto de revenimiento y relación agua-cemento de bajo al normal para producir un concreto fluido, con alto revenimiento. El concreto fluido o plástico es un concreto con consistencia bien fluida, pero trabajable, y que se puede colocar con poca o ninguna vibración o compactación, mientras que se lo mantiene prácticamente libre de sangrado segregación excesiva.

Algunas aplicaciones para el concreto fluido son:

- Colado de concreto en secciones muy delgadas.
- Áreas con poco espaciamiento del acero de refuerzo.
- Concreto bombeado, para reducir la presión de bombeo.
- Áreas donde no se pueden usar los métodos convencionales de consolidación.
- Para la reducción de los costos de manejo.

La adición de los superplastificantes en concretos con revenimiento de 75 mm (3 pulg) permite que se produzca un concreto con revenimiento de 230 mm (9 pulg). El concreto fluido se define por la Norma ASTM C-1017 como un concreto que tiene un revenimiento mayor que 190 mm (7/2 pulg), pero todavía mantiene sus propiedades cohesivas.

1.2.6.1.4. Retardadores

Los aditivos retardadores se usan para retrasar la tasa de fraguado del concreto. Pero hay otras maneras de hacerlo. Uno de los métodos más prácticos es la reducción de la temperatura del concreto a través del enfriamiento del agua de la mezcla y/o de los agregados. Esto porque las temperaturas elevadas del concreto fresco (30°C) normalmente son la causa del aumento de la tasa de endurecimiento, que torna la colocación y el acabado del concreto más difíciles. Los retardadores no disminuyen la temperatura inicial del concreto, en cambio, aumentan la tasa de sangrado y la capacidad de sangrado del concreto. Los aditivos retardadores son muy útiles para extender el tiempo de fraguado del concreto, pero también se usan para disminuir la pérdida de revenimiento y extender la trabajabilidad, especialmente antes de la colocación del concreto en ambientes con altas temperaturas.

Los retardadores algunas veces se usan para:

- Compensar el efecto acelerador de la temperatura sobre el fraguado del concreto.
- Retardar el fraguado inicial del concreto o de la lechada cuando ocurren condiciones de colocación difíciles o poco usuales, tales como el colado del concreto en pilares o cimentaciones de gran tamaño, la cementación de pozos de petróleo o el bombeo de concreto o lechadas a grandes distancias.
- Retrasar el fraguado para la ejecución de técnicas de acabado especiales, tales como superficies con agregados expuestos.

La reducción en la resistencia a edades tempranas (de uno a tres días) puede acompañar el uso de los retardadores. Los efectos de estos materiales sobre otras propiedades del concreto, tales como contracción (retracción),

pueden ser impredecibles. Por lo tanto, se debe hacer ensayos de aceptación de los retardadores con los materiales de la obra bajo las condiciones de la obra.

Cuando los componentes del cemento se combinan con el agua, se da inicio a la hidratación, los hidratos y el óxido de calcio formados se unen entre sí formando una masa dura. Los iones de calcio se fijan sobre la superficie de las partículas de cemento, formando una barrera protectora. Con el tiempo se disipa la barrera protectora, permitiendo que continúe el proceso de hidratación normal del cemento.

1.2.6.1.5. Control de la hidratación

Los aditivos de control de la hidratación. Consisten en un sistema químico de dos partes: un estabilizador o retardador que, básicamente, detiene la hidratación de los materiales cementantes; y un activador que, cuando es adicionado al concreto estabilizado, reestablece la hidratación y el fraguado normales. El estabilizador puede suspender la hidratación por 72 horas y el activador se adiciona al concreto poco antes de que se le use. Estos aditivos pueden suspender el fraguado por toda la noche, posibilitando la reutilización de concretos retornados al camión de concreto premezclado.

Este aditivo también es útil para mantener el concreto estabilizado, sin endurecer, durante el transporte por largos períodos. En este caso, se reactiva el concreto cuando llega a la obra. Este aditivo actualmente no tiene una norma de especificación.

1.2.6.1.6. Aceleradores

Los aditivos aceleradores se usan para acelerar la tasa de hidratación (fraguado) y el desarrollo de la resistencia del concreto en edades tempranas. El desarrollo de la resistencia del concreto también se puede acelerar por otros métodos:

- Usando el cemento de alta resistencia inicial
- Usando un reductor de agua
- Curando el concreto a altas temperaturas

El cloruro de calcio (CaCl) es el compuesto químico más comúnmente empleado en aditivos aceleradores, especialmente en concretos sin armadura (refuerzo). Además de acelerar el desarrollo de resistencia, el cloruro de calcio promueve un aumento de la contracción por secado, corrosión potencial de la armadura, decoloración (oscurecimiento del concreto) y un aumento del potencial de descascaramiento. No se deben usar cloruros de calcio o aditivos conteniendo cloruros solubles en los siguientes casos:

- Construcción de estacionamientos.
- En concreto pretensado debido al riesgo de la corrosión del acero.
- El concreto que contenga agregados que, bajo las condiciones de ensayos normalizados, se han mostrado potencialmente reactivos.
- En concreto expuesto a suelos o agua que contengan sulfatos.
- En losas de pisos que se van a acabar en seco con equipo metálico.
- Durante el clima caluroso.
- En la colocación de concretos masivos.

1.2.6.2. Compatibilidad de los aditivos y los materiales cementantes

Los problemas en el concreto fresco muchas veces resultan de la incompatibilidad entre el cemento y el aditivo o entre los aditivos. Tales incompatibilidades pueden resultar en pérdida de revenimiento (asentamiento), pérdida de aire, fraguado rápido y otros factores. Como estos problemas afectan principalmente el concreto en el estado fresco, el desempeño a largo plazo del concreto endurecido también se puede modificar adversamente. Por ejemplo, el fraguado rápido puede dificultar la consolidación del concreto, comprometiendo su resistencia. Aún no se encuentran disponibles ensayos fiables para la determinación de las incompatibilidades debidas a variaciones en los materiales, equipos de mezcla, tiempo de mezclado y factores ambientales.

Las pruebas realizadas en laboratorio no reflejan las condiciones experimentadas por el concreto en la obra. Cuando se descubre la incompatibilidad en la obra, normalmente la solución usada es el cambio del aditivo o del material cementante.

1.2.6.3. Almacenamiento y dosificación de los aditivos químicos

Los aditivos químicos se pueden almacenar en toneles o cisternas. Los aditivos en polvo se pueden poner en cajas especiales y algunos están disponibles en bolsas plásticas con las proporciones preestablecidas. Los aditivos adicionados a los camiones mezcladores en la obra, normalmente están en bolsas. Los aditivos en polvo, como algunos superplastificantes o los toneles de aditivos, se deben almacenar en obra. Las cisternas en las plantas de concreto se deben identificar adecuadamente para que se evite la contaminación o el

mezclado del aditivo errado. La mayoría de los aditivos líquidos no se deben congelar, por lo tanto, se deben almacenar en ambientes calientes o calentados. Se debe consultar al fabricante del aditivo sobre la temperatura de almacenamiento adecuada.

Los aditivos en polvo normalmente son menos sensibles a las temperaturas, pero pueden ser sensibles a la humedad. Los aditivos químicos líquidos normalmente se dosifican separadamente en el agua de la mezcla de manera volumétrica. Los aditivos líquidos y en polvo se pueden medir en masa, pero los aditivos en polvo no se deben medir en volumen. Se deben tomar algunas precauciones para no combinar ciertos aditivos antes de su dosificación, algunas combinaciones pueden neutralizar el efecto deseado. Se debe consultar a los fabricantes de los aditivos sobre las combinaciones de aditivos compatibles o sobre los ensayos de laboratorio que comprueben su desempeño.

1.2.6.4. Antecedentes del uso de azúcar como aditivo

“Una pequeña cantidad de sacarosa, del 0,03 % al 0,15 % en peso de cemento, normalmente es suficiente para retardar el fraguado del cemento. El límite superior de este rango varía de acuerdo con los diferentes cementos. La resistencia a los 7 días se puede reducir mientras que la resistencia a los 28 días se puede aumentar. Cada tipo de azúcar influye en el tiempo de fraguado y en la resistencia de manera diferente.”¹

¹ KOSMATKA, Steven; y otros. *Diseño y control de mezclas de concreto*. p. 99.

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Materiales utilizados

El concreto se compone principalmente de agregados, cemento o cemento combinado (si tiene algún tipo de material con propiedades cementantes), agua y puede tener aditivos químicos. También puede tener una cierta cantidad de aire atrapado o deliberadamente incluido, por un agente químico o un cemento inclusor de aire. Todos los materiales que entran en juego para la fabricación de concreto deben estar debidamente analizados con ensayos de laboratorio, para así tener una dosificación correcta. Una correcta dosificación implica el equilibrio entre la economía y los requisitos de colocación, resistencia, durabilidad, densidad y apariencia. Las características requeridas van de acuerdo con el empleo que se le dará al concreto y por las condiciones que se esperan tener al momento del colocado.

Por ello es de especial interés conocer las propiedades físicas de los agregados, el tipo de cemento a utilizar así como su composición, calidad del agua y propiedades modificadas en la mezcla de concreto debido al aditivo químico, así mismo, los límites de la adición de dicho aditivo para no tener daños en la calidad de la mezcla. A continuación, se describen los materiales utilizados para la realización de las mezclas de concreto.

2.1.1. Cemento

El cemento a utilizar para el desarrollo experimental es un cemento tipo UGC con adición de puzolana según Norma NTG 41095, este cumple con la resistencia de 4060 libras por pulgada cuadrada a los 28 días.

Todo cemento hidráulico tiene cuatro compuestos importantes:

Tabla III. Principales componentes del cemento

Nombre del componente	Composición óxida	Abreviatura
Silicato de tricalcio	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Silicato de bicalcio	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Aluminio de tricalcio	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Aluminato ferrato	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Fuente: NEVILLE, Adam; BROOKS, J.J. *Tecnología del concreto*. p. 16.

Los silicatos, C_3S y C_2S son los componentes más importantes y los causantes de la resistencia de la pasta hidratada de cemento. En realidad, los silicatos en el cemento no son componentes puros sino que contienen óxidos menores en soluciones sólidas. Estos óxidos tienen efectos significativos en los ordenamientos atómicos. En la forma de los cristales y en las propiedades hidráulicas de los silicatos.

La presencia de C_3A en el cemento no es deseable, ya que contribuye poco o nada a la resistencia del mismo, excepto en las primeras etapas; y cuando la pasta de cemento endurecida es atacada por sulfatos, la formación de sulfoaluminato de calcio (etringita) puede causar resquebrajamientos. Sin embargo, el C_3A es benéfico durante la elaboración del cemento porque favorece

la combinación de cal y sílice. La adición de yeso o sulfato de calcio depende en gran medida por el C_3A , debido a que este compuesto es el principal responsable del aumento de la temperatura al momento de la hidratación del cemento, no obstante un aumento de yeso puede generar expansión y a la consecuente ruptura en la pasta de cemento. La adición de puzolana en la fabricación de cemento hace que el C_3A disminuya y, por lo tanto, la cantidad de yeso, al tener una menor cantidad de C_3A el cemento se hace más resistente al ataque de sulfatos.

El C_4AF también está presente, en pequeñas cantidades, en el cemento y en comparación con los otros tres componentes, no influye significativamente en su comportamiento, sin embargo, reacciona con el yeso para formar sulfoferrita de calcio y su presencia puede acelerar la hidratación de los silicatos.

La puzolana es un material silicoso, o silicoso y aluminoso que en sí mismo no posee valor cementante, pero que lo tendrá en una forma dividida y fina en presencia de humedad. Reacciona a temperaturas normales y tiene reacciones químicas con la cal (liberada por la hidratación del cemento), por lo cual se forman compuestos con propiedades aglutinantes. Estos cementos generalmente generan una resistencia lenta y, por tanto, requieren curado durante un período largo, pero su resistencia en el largo plazo es alta.

La gran cantidad de agentes oxidantes presentes en el cemento hacen que este sea una sustancia que necesita reducirse (ganar electrones), para alcanzar el equilibrio químico, por ello la adición de agua (molécula parcialmente polarizada) da estos electrones que el cemento necesita por medio de una hidrólisis.

2.1.2. Agregados

La calidad del agregado es de suma importancia, ya que le corresponden aproximadamente tres cuartas partes del volumen del concreto. El agregado no sólo puede limitar la resistencia del concreto, sino que sus propiedades pueden afectar enormemente su durabilidad y desempeño. Desde un punto de vista económico, es ventajoso emplear una mezcla con el mayor contenido posible de agregado y el menor de cemento, aunque el costo debe balancearse con las propiedades deseadas del concreto en estado fresco y endurecido.

“Un agregado cuyas propiedades resulten satisfactorias hará siempre un buen concreto, pero un agregado de propiedades que se consideran inferiores también podrá lograr la calidad deseada con algunas modificaciones. Por ello, es necesario emplear un criterio para el desempeño de concreto.”² Muchas características del agregado dependerán de las propiedades de la roca original, como lo es la composición química y mineral, la clasificación petrográfica, gravedad específica, dureza, resistencia, estabilidad química y física, estructura de poro, el color, entre otras propiedades.

Además, el agregado tiene otras propiedades diferentes de las de la roca original: forma y tamaño de la partícula, textura de superficie y absorción; las cuales pueden influir en la calidad del concreto fresco o endurecido.

²NEVILLE, Adam; BROOKS, J.J. *Tecnología del concreto*. p. 38.

2.1.2.1. Agregado grueso

El agregado a utilizar se obtuvo por la trituración de una roca ígnea, el cual es del grupo basalto. La ubicación de la planta de procesamiento se encuentra en Palín, Escuintla. Las propiedades físicas de este agregado se muestran a continuación:

Tabla IV. Características físicas del agregado grueso

Peso específico	2,67
Peso unitario compactado (Kg/m ³)	1 520,00
Peso unitario suelto (Kg/m ³)	1 440,00
Porcentaje de absorción	0,80
Pasa tamiz # 200 (%)	1,00
Porcentaje de vacíos (%)	43,00
Módulo de finura	5,88

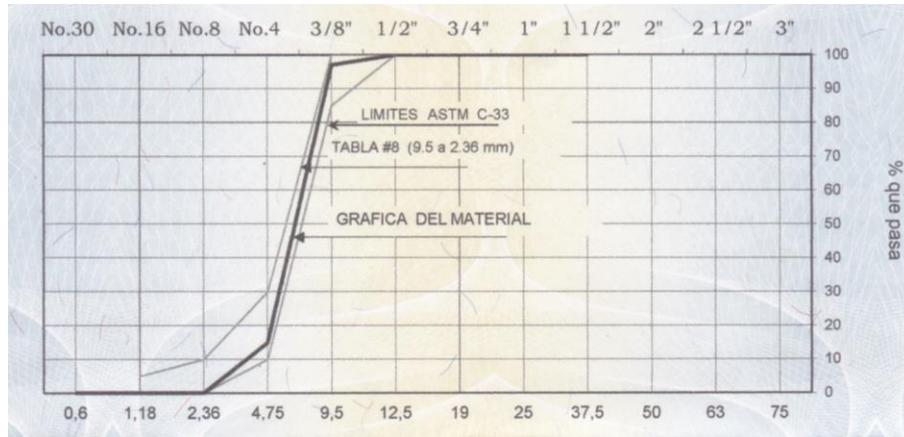
Fuente: elaboración propia.

La Norma NTG 41007 h-1 (ASTM C-33) y el código ACI 211,1: proporcionamiento de mezclas, especifica los límites para varias de las pruebas realizadas, de los resultados que aparecen en la tabla IV se puede concluir lo siguiente:

- La Norma NTG 41007 h-1 (ASTM C-33), para agregado grueso, especifica que el porcentaje que debe pasar por el tamiz No. 200 no puede ser mayor a 1 %. En la prueba que se realizó, el porcentaje es de 1,0 % con el cual si cumple con las especificaciones de la norma.
- El módulo de finura, según la Norma NTG 41007 h-1 (ASTM C-33), para agregado grueso, no tiene información sobre los límites del módulo de finura.

- Los límites del peso específico de un agregado grueso para un concreto normal se encuentran entre 2,40 y 3,00, según el código ACI 211,1, el resultado de la prueba realizada es de 2,67, por lo que si cumple con los límites establecidos para el diseño de un concreto normal.
- Con el 43,00 % de vacíos, el agregado muestra un contenido alto, lo cual indica la forma angular del agregado y la necesidad de llenar estos espacios con agregado fino y pasta de cemento, este último parámetro puede elevar el costo del concreto.
- Usualmente, el peso volumétrico del agregado grueso utilizado para concreto normal varía de 1 200 kg/m³ a 1 750 kg/m³; mientras tanto del análisis realizado, con el peso unitario obtenido de 1 520 kg/m³, si cumple con los requerimientos establecidos previamente.
- Los niveles de absorción para el agregado grueso varía de 0,2 % al 4,0 %. La cantidad de absorción en el agregado analizado es de 0,80 % esto indica que el agregado absorbe poca agua.
- En la gráfica de granulometría de la figura 11, se observa que la graduación del agregado cumple con la especificación de la Norma NTG 41007 h-1 (ASTM C-33).

Figura 11. **Granulometría del agregado grueso**



Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Porcentaje que pasa en los tamices para el agregado grueso**

Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No. 8	No. 16
% Que pasa	100,00	100,00	100,00	100,00	97,00	15,00	0,00	0,00

Fuente: elaboración propia.

- La tabla V muestra el porcentaje que pasa en cada tamiz, esto indica que el tamaño máximo nominal del agregado analizado es de 3/8", el tamaño máximo nominal se halla buscando el rango de 5 % a 15 % en el porcentaje retenido. Debido a que, el porcentaje retenido en el tamiz 3/8" es de 3 % y el siguiente tamiz es de 85 %, se toma como máximo nominal el de 3/8" ya que es el más próximo al 5 % del límite inferior.

Figura 12. **Agregado grueso utilizado**



Fuente: elaboración propia.

2.1.2.2. **Agregado fino**

La procedencia y el tipo de roca son similares al del agregado grueso antes mencionado. Las características físicas de este se muestran a continuación:

Tabla VI. **Características físicas del agregado fino**

Peso específico	2,62
Peso unitario compactado (Kg/m ³)	1 800,00
Peso unitario suelto (Kg/m ³)	1 670,00
Porcentaje de vacíos (%)	31,00
Porcentaje de absorción (%)	0,70
Contenido de materia orgánica	1
Pasa tamiz # 200 (%)	4,80
Retenido tamiz 6,35 (%)	0,00
Módulo de finura	2,72

Fuente: elaboración propia.

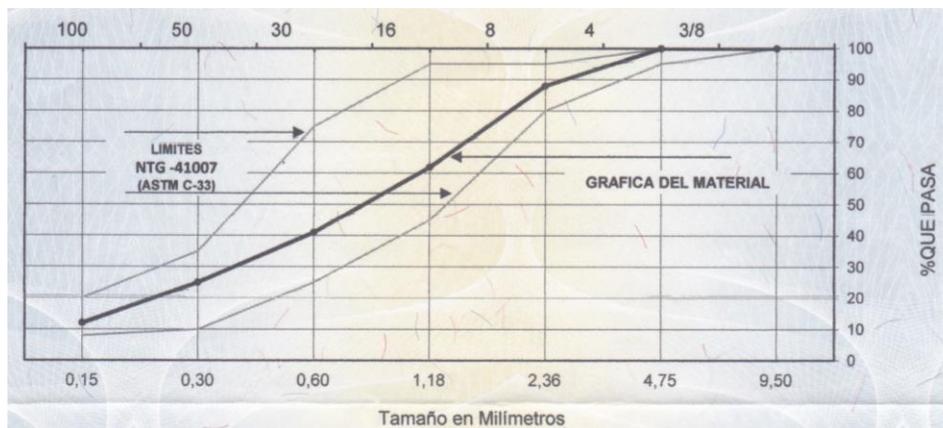
La Norma NTG 41007 h-1 (ASTM C-33) y el código ACI 211,1: proporcionamiento de mezclas, especifica los límites para varias de las pruebas realizadas de los resultados que aparecen en la tabla VI, se puede concluir lo siguiente:

- La Norma NTG 41007 h-1 (ASTM C-33), para agregado fino, especifica que el porcentaje que debe pasar por el tamiz No. 200 no puede ser mayor al 7 % para una arena manufacturada. En la prueba que se realizó, el porcentaje es de 4,80 %, con el cual sí cumple con las especificaciones de la norma.
- El módulo de finura, según la Norma NTG 41007 h-1 (ASTM C-33), debe encontrarse entre 2,30 y 3,10. El resultado del análisis es de 2,72, por lo que el agregado cumple con las especificaciones de la norma, como agregado para concreto normal (basalto).
- Usualmente los límites del peso específico para agregados fino se encuentran entre 2,40 y 2,90, el resultado de la prueba realizada es de 2,62, por lo que si cumple con los límites establecidos. Entre más parecidos estén los pesos específicos de los dos tipos de agregados resulta favorable en la mezcla de concreto, esto para evitar la segregación.
- Con el 31 % de vacíos, el agregado muestra un contenido de vacíos bajo lo normal, que es entre 40 % a 50 %, esto indica una cantidad menor de pasta de cemento para llenar estos vacíos.
- Usualmente, el peso volumétrico del agregado fino utilizado para concreto varía de 1 200 kg/m³ a 1 750 kg/m³; mientras tanto del análisis realizado, con el peso unitario obtenido de 1 800,00 kg/m³, no cumple con los

requerimientos establecidos previamente, pero este límite solo es para distinguir agregados con bajo y alto peso volumétrico por lo que es aceptable este resultado, y se corrige en el diseño de mezcla.

- El porcentaje de absorción de 0,70 indica que el agregado absorbe poca agua.
- Con relación al resultado del análisis de contenido de materia orgánica, la Norma NTG 41010 h-4 (ASTM C-40) establece que el máximo permisible es No. 3, por lo que el resultado de No. 1 obtenido si es aceptable.

Figura 13. **Granulometría del agregado fino**



Fuente: elaboración propia

- En la gráfica de granulometría de la figura 13, se observa que la graduación del agregado cumple con la especificación de la Norma NTG 41007 h-1 (ASTM C-33), dado que la gráfica del material se encuentra dentro de los límites estipulados en la norma.

Tabla VII. **Porcentaje que pasa en los tamices para el agregado fino**

Tamiz No.	9,50	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,15
% Que pasa	100,00	100,00	88,00	62,00	41,00	25,00	12,00

Fuente: elaboración propia.

- La tabla VII muestra el porcentaje que pasa en cada tamiz, según la Norma NTG 41007 h-1 (ASTM C-33) el porcentaje máximo que puede pasar en cualquier tamiz es de 45 % y el más alto en el análisis es de 26 % (en el tamiz No. 1,18) y por ello si cumple con el parámetro.

Figura 14. **Agregado fino utilizado**



Fuente: elaboración propia.

2.1.3. Aditivo

“Es un material diferente al agua, agregados, cemento hidráulico y fibras de refuerzo que se emplean como un ingrediente del concreto o mortero y se agrega a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado”³. Se utilizaron dos tipos de aditivos: azúcar blanca y azúcar morena; las cantidades usadas se determinaron por medio de porcentajes en peso respecto al cemento utilizado en el diseño de mezcla; estos porcentajes varían desde 0,03 % hasta 0,15 %; por cada porcentaje utilizado se aplicaron los dos tipos de azúcar. En la elaboración de las 7 mezclas se usaron las mismas proporciones de los materiales, cambiando solamente la cantidad de azúcar adicionada.

Figura 15. **Máxima cantidad de azúcar utilizada**



Fuente: elaboración propia.

³American Concrete Institute. *Proporcionamiento de mezclas concreto normal, pesado y masivo*. p. 15.

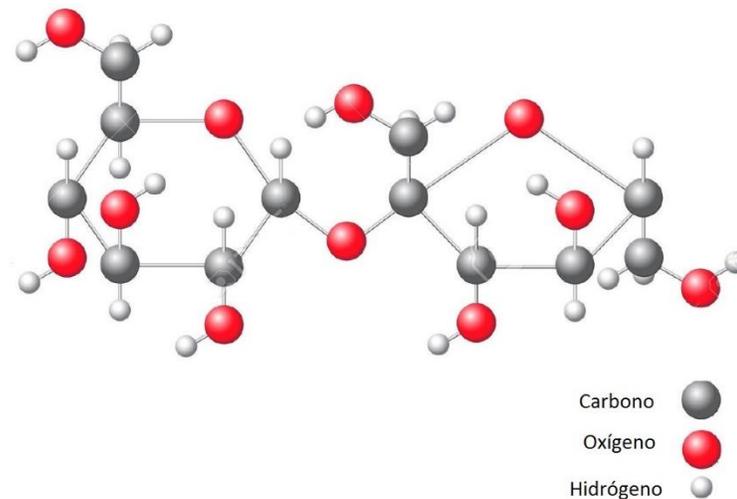
2.1.3.1. Molécula del azúcar

El azúcar morena y blanca tienen la misma molécula; las diferencias que tienen entre ellas es el grado de pureza (refinamiento), debido a un número mayor de procesos industriales. En todo el proceso para obtener el grano de azúcar de la planta de caña suceden solo procesos físicos para llegar a la obtención del grano de azúcar y no suceden reacciones químicas; y por ello se dice que la blanca tiene un grado más alto de pureza.

La sacarosa consta de dos ciclos en su molécula: uno con forma de pentágono y el otro de hexágono, como se muestra en la figura 16; en estos ciclos es difícil que ocurran reacciones químicas debido a las fuerzas electromagnéticas de los enlaces carbono-carbono y carbono-oxígeno, pero a sus alrededores existen enlaces simples con otras moléculas que tienen fuerzas electromagnéticas más débiles y por ello pueden ser fácilmente arrebatados por otros compuestos con una fuerza electronegativa mayor. Como se observa en la figura 16, la molécula del azúcar es no polar y por ello no conduce la electricidad; la única forma de que el azúcar reaccione con un compuesto iónico es induciendo a esta a una polaridad. El ejemplo más simple para representar esto es con un imán y un metal; cuando el imán está muy cerca del metal este tiene un polo positivo y otro negativo temporalmente, y mientras más cerca estén estos, mayor será la polaridad del metal.

Cuando uno de estos enlaces se rompe por cualquier motivo, se libera una cierta cantidad de energía conocida como entalpía de reacción y se representa como un cambio de temperatura, normalmente un aumento de esta. En promedio, cada enlace en la molécula de sacarosa tiene una entalpía de reacción de 355 kJ/mol.

Figura 16. **Estructura molecular del compuesto de sacarosa**



Fuente: elaboración propia.

2.1.4. Agua

La cantidad de agua utilizada se determina conociendo la trabajabilidad deseada. En ninguna dosificación de concreto se utilizó agua donde se dudaba de su procedencia o calidad, cumpliendo con las especificaciones de agua para concreto, las cuales indican que puede ser agua potable para consumo humano, libre de materia en suspensión y con un pH entre 6,0 y 9,2. El agua potable tiene un pH de 6,5 a 8,5 según Norma Coganor NGO 29001, por lo que es aceptada el agua utilizada.

2.2. Diseño teórico para la mezcla de concreto

Las proporciones que conllevan el diseño teórico, es la cantidad de cada uno de los materiales que estarán presentes en el mezclado. Con frecuencia, los proporcionamientos de concreto que no contienen aditivos químicos y/o

materiales distintos al cemento hidráulico son redosificados para incluir estos materiales o un cemento diferente. Las proporciones se deben seleccionar para facilitar la colocación, con la densidad, resistencia y durabilidad necesaria para determinada aplicación. Además, se debe tomar en consideración la generación de calor al tener elementos con un mayor volumen de concreto.

El método utilizado para el diseño teórico, es el método usado en la Sección de Agregados, Concretos y Morteros del Centro de Investigaciones de Ingeniería. Este método se basa en los siguientes parámetros para un diseño de concreto de peso normal.

- Conocer la resistencia y el uso que se le va a dar al concreto, así mismo, los agregados y aditivos a utilizar. El uso corresponde al elemento estructural y la exposición del concreto a ambientes hostiles, este último para reducir el A/C y aumentar la cantidad de aire incluido.
- Los agregados tienen que cumplir con los requisitos de normas antes mencionados.
- Elegir la cantidad de revenimiento para facilitar la colocación.
- Estimar el peso volumétrico del concreto a obtener.

En el trabajo de investigación el diseño del concreto es de una resistencia a compresión a 28 días de 281 kg/cm^2 (4 000 PSI) y asentamiento de 8 cm, la proporción del concreto es la siguiente: 1 : 2,04 : 2,21 : 0,57. Esta proporción es la misma para las 7 mezclas realizadas, variando solamente la cantidad y tipo de azúcar. Para poder comparar los efectos del azúcar se realizó un concreto patrón (sin adición de azúcar).

2.3. Ensayos de laboratorio al concreto

Las proporciones calculadas por cualquier método se deben considerar siempre en una revisión basada en la experimentación con las mezclas de prueba. De acuerdo con las circunstancias, las mezclas de prueba se pueden preparar en un laboratorio o, de preferencia, como muestra de campo. Los resultados obtenidos por los ensayos dan los parámetros para modificar las proporciones para mejorar la calidad o tener un concreto más acorde a los parámetros buscados.

Los ensayos de concreto fueron realizados en la Sección de Agregados, Concretos y Morteros del Centro de Investigaciones de Ingeniería, se dividen en ensayos a concreto fresco y ensayos a concreto endurecido.

2.3.1. Ensayos a concreto fresco

El concreto recién mezclado debe ser plástico o semifluido y generalmente capaz de ser moldeado a mano; una mezcla de concreto muy húmeda se puede moldear en el sentido que puede colarse en el molde, pero no está en la definición de plástico; aquél que es flexible y capaz de ser moldeado de la misma forma que un terrón de arcilla para moldear. Todo concreto se debe mezclar completamente hasta que tenga una apariencia uniforme con todos sus materiales igualmente distribuidos. Si el concreto fue adecuadamente mezclado, las muestras tomadas de diferentes porciones de la mezcla van a tener esencialmente la misma masa volumétrica, contenido de aire, revenimiento y contenido de agregado grueso.

Los ensayos se realizaron utilizando procedimientos y especificaciones indicadas en las normas NTG y ASTM utilizadas. Los ensayos son los siguientes:

2.3.1.1. Revenimiento NTG 41052 (ASTM C-143)

Luego de observar que la mezcla tiene una consistencia deseada, se procede hacer este ensayo, el cual consiste en llenar un molde con forma de cono truncado de 30,5 cm de altura, 20.3 cm diámetro de base y abertura más pequeña de 10,2 cm de diámetro.

El recipiente se llena con concreto en tres capas, cada una de ellas apisonada por 25 golpes con una varilla de acero, en la superficie se elimina lo que sobra haciendo rodar la varilla por encima. Inmediatamente después del llenado se levanta el cono con suavidad y el concreto se desploma, de ahí el nombre de la prueba.

Figura 17. **Ensayo de revenimiento**



Fuente: elaboración propia.

La disminución en la altura del centro del concreto desplomado se denomina revenimiento y se mide su altura. Para reducir la influencia de la variación en la fricción superficial, el interior del molde y su base deben estar húmedos al comienzo de cada prueba. Si en vez de desplomarse uniformemente en toda la

base, la mitad del cono se desliza en un plano inclinado ocurre revenimiento cortante y la prueba debe repetirse. Si persiste el revenimiento cortante, como puede ser el caso con mezclas ásperas, será una señal de falta de cohesión de la mezcla.

2.3.1.2. Temperatura NTG 41053 (ASTM C-1064)

Este ensayo puede ser el más subestimado de todos los ensayos a concreto fresco, pero este ensayo es uno de los más importantes, debido a que, la única forma de saber si el cemento no está experimentando un fraguado rápido es por medio de mediciones altas de temperatura. Estos cambios de temperatura se debe a que el cemento y el agua generan una reacción exotérmica; este aumento de temperatura puede estar influenciado por un cemento con poca o nula cantidad de sulfato de calcio (yeso), por un cemento con alto contenido de alúmina, presencia de un acelerante como lo es el cloruro de calcio, una finura alta del cemento y poca o nula adición de puzolana. También, puede ser usado para tener el control del agua ya que el agua fría puede retardar el fraguado y el agua caliente puede acelerar el fraguado.

Figura 18. Ensayo de temperatura



Fuente: elaboración propia.

Este ensayo consiste en introducir un termómetro (figura 18) en el concreto fresco, el sensor del termómetro debe estar cubierto en sus alrededores por lo menos 3" por la mezcla, luego de 2 minutos de espera se procede a la toma de lectura.

2.3.1.3. Peso unitario NTG 41017 h5 (ASTM C-138)

Con este ensayo se determina el peso por unidad de volumen del concreto y se compara con el esperado, normalmente un concreto tiene un peso unitario de $2\ 300\ \text{kg/m}^3$, si este peso varía mucho del esperado se debe tomar en consideración que: los materiales, A/C y contenido de aire fueron modificados según el diseño teórico. El ensayo consiste en llenar con concreto en tres capas un recipiente (con dimensiones conocidas), cada una de ellas apisonada 25 veces con una varilla de acero y luego se golpea con un mazo de hule los lados del recipiente para disminuir la cantidad de vacíos, luego se pesa el recipiente más el concreto y se le resta el peso del recipiente.

Figura 19. **Ensayo peso unitario**



Fuente: elaboración propia.

2.3.1.4. Contenido de aire NTG 41017 h17 (ASTM C-231)

Este ensayo no puede distinguir el contenido de aire de los vacíos generados por la mala compactación del concreto; por ello se debe tener una compactación apropiada para este ensayo; el procedimiento para compactar este concreto es el mismo que se utilizó para el ensayo de peso unitario. El ensayo se realiza en un recipiente de 7 litros de capacidad y un medidor de presión tipo B, el concreto en el recipiente es sometido a presión para llenar todos los vacíos que dejó el concreto incluyendo los poros de los agregados, con el medidor tipo B se puede leer el contenido de aire directamente cuando se aplica la presión. Siendo el porcentaje de contenido de aire máxima de 7,5 % para un concreto con un agregado grueso de tamaño máximo nominal de 3/8" según el Código ACI comité 211,1, esto para un concreto con una exposición severa a productos químicos u otros agentes agresivos.

Figura 20. **Ensayo de contenido de aire**



Fuente: elaboración propia.

2.3.1.5. Ensayo de velocidad de endurecimiento NTG 41017 h12 (ASTM C-403)

Este ensayo se realizó siguiendo los procedimientos y especificaciones indicadas en la Norma NTG 41017 h12 (ASTM C-403), Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto, por su resistencia a la penetración. El ensayo inicia con el registro del tiempo desde que el agua tiene contacto con el cemento, sucesivamente se tiene entre 3 a 5 horas para realizar la primera penetración, luego estas son cada media hora. Para la obtención de la muestra para la realización de este ensayo, el concreto en estado plástico es tamizado en estado fresco por el tamiz 4,75 mm, hasta obtener un mortero, al tener la suficiente cantidad se llena un recipiente con un área superficial considerable para las penetraciones a realizar; la norma no especifica un área superficial mínima ni máxima, pero si especifica que el recipiente debe estar lleno por lo menos 15 cm de altura de mortero.

Figura 21. Tamizado en húmedo del concreto



Fuente: elaboración propia.

Luego, la muestra es colocada en un ambiente con una temperatura entre 20 °C y 25°C, libre de rayos solares y viento. Sobre la muestra se coloca un paño húmedo, esto para evitar evaporación en la superficie del mortero; la evaporación puede causar un endurecimiento por secado en la superficie. Antes de medir la resistencia a la penetración se elimina el agua exudada, esto se realiza inclinando la muestra aproximadamente 10° y con una pipeta se capta el agua superficial. La resistencia a la penetración se mide con un penetrómetro; el cual se puede cambiar de aguja de 1 pulg². a 1/20 pulg.²; la aguja se cambia cuando ya se dificulta la penetración. La lectura de la resistencia a la penetración se realiza aplicando un aumento constante de fuerza por 10 segundos; la fuerza se deja de aplicar cuando la aguja tiene una penetración de 1 pulg. en la superficie, luego se registra la lectura de la cantidad de fuerza aplicada.

Figura 22. **Toma de lectura de la resistencia a la penetración**



Fuente: elaboración propia.

El ensayo se da por concluido cuando la cantidad de penetraciones realizadas es como mínimo 6 y la resistencia a la penetración es de al menos 281 kg/cm² (4 000 PSI), se pueden hacer un sinfín de penetraciones hasta alcanzar la resistencia de 281 kg/cm².

Figura 23. **Espécimen ensayado durante 18 horas**



Fuente: elaboración propia.

2.3.2. Ensayos a concreto endurecido

Los ensayos se realizaron utilizando procedimientos y especificaciones indicadas en las normas NTG y ASTM utilizadas. Los ensayos son los siguientes:

2.3.2.1. Ensayo a compresión en cilindros NTG 41017 h1 (ASTM C-39)

Este ensayo se realizó según la Norma Coguanor NTG 41017 h1 (ASTM C-39), el cual consiste en aplicar una carga al cilindro hasta su falla. Las edades de los cilindros ensayados son: 3, 7, 28, 56 y 105 días, la cantidad de cilindros ensayados por día son dos y la carga reportada es el promedio entre ellos. En varios cilindros de edades superiores a 28 días se utilizó azufre como método de cabeceo, debido a la alta resistencia que presentan los cilindros y el azufre ayuda a que la falla no fuera explosiva, esto para no dañar la máquina utilizada.

Figura 24. Ensayo a compresión



Fuente: elaboración propia.

2.3.2.2. Ensayo de carbonatación

La gran cantidad de compuestos oxidantes en el cemento y la cal libre presente después de la hidratación de los compuestos del cemento, hacen que una mezcla de concreto tenga un pH aproximadamente de 12, haciendo a este un material alcalino, siendo un pH neutro de 7 y un pH máximo de 14. El pH alto del concreto hace que sea susceptible para la estabilización de compuestos ácidos, además el bióxido de carbono (CO_2) puede reaccionar con la cal libre para crear carbonato de calcio (CaCO_3), el cual reduce la alcalinidad del concreto y crea contracciones. Por estas causas, se busca siempre tener un concreto más hermético y con un A/C bajo para reducir estos efectos, los cuales no se pueden evitar por la naturaleza de los ácidos y las bases.

El ensayo consiste en aplicar una cantidad de fenolftaleína, el cual es un indicador de alcalinidad (figura 25), al concreto recién fracturado, donde un color fucsia indica un concreto alcalino (concreto sin carbonatación); el ensayo es de inspección visual y solamente existe dos resultados: aceptable o no.

El nombre del ensayo da a entender que solamente puede presentarse pérdida de alcalinidad por medio de la carbonatación, pero es válido también cuando compuestos ácidos reducen la alcalinidad, el nombre probablemente se deba a que la mayoría de concretos están expuestos al ambiente, el cual tiene bióxido de carbono, y en concretos con relación A/C alta puede generar fácilmente el efecto de carbonatación.

Figura 25. **Ensayo de carbonatación**



Fuente: elaboración propia.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Concreto fresco

Los resultados de los ensayos a concreto fresco se muestran a continuación, en los siguientes resultados; la nomenclatura utilizada para nombrar y así diferenciar las mezclas es: concreto con porcentaje de adición de azúcar blanca “B- %”, concreto con porcentaje de adición de azúcar morena “M- %” y concreto sin adición de azúcar “P”.

Tabla VIII. **Resultados de ensayos a concreto fresco**

Mezcla	Temperatura (°C) ASTM C-1064	Asentamiento (cm) ASTM C-143	Peso unitario (kg/m ³) ASTM C-138	Contenido de aire ASTM C-231
P	21	7,5	2 343	1,4 %
B-0,03 %	20	8	2 263	1,6 %
B-0,075 %	23	6,5	2 397	1,7 %
B-0,15 %	22	6	2 391	2,4 %
M-0,03 %	24	7	2 224	1,5 %
M-0,075 %	22	8	2 403	1,9 %
M-0,15 %	23	10	2 369	2,3 %

Fuente: elaboración propia.

En los resultados obtenidos cabe destacar que el cemento y el azúcar, cuando son mezclados con agua sucede en poco tiempo reacciones químicas, que hacen que el azúcar modifique varias de las propiedades del concreto. Por esa razón la adición de la cantidad de agua en la mezcla debe ser cuidadosa porque el azúcar, cemento y agua deben reaccionar para percibir los resultados.

- Asentamiento

En el diseño de mezcla teórico se especifica que el asentamiento tiene que ser de $8 \text{ cm} \pm 2 \text{ cm}$; por esa razón, en los resultados el asentamiento se encuentra entre el rango de 6 cm a 10 cm. El azúcar funciona como un aditivo reductor de agua por ello la cantidad de agua adicionada en la mezcla disminuye para alcanzar el asentamiento deseado. Los componentes del azúcar en su composición molecular constan de ciclos y ramificaciones; los elementos en sus ramificaciones son los compuestos activos que están concentrados en la superficie de contacto entre dos fases inmiscibles y que alteran las fuerzas físico-químicas de esta interface.

Los agentes de superficie activos son absorbidos por las partículas de cemento, dándoles una carga negativa que conduce a la repulsión entre las partículas y da como resultado la estabilización de su dispersión; también, se repelen las burbujas de aire. Además, la carga negativa provoca el desarrollo de cadenas de moléculas de agua orientadas alrededor de la partícula de cemento, y el agua que no quedó adherida a esta partícula de cemento-azúcar queda libre para lubricar la mezcla y aumentar el revenimiento.

- Temperatura

El azúcar dentro de la mezcla sufre una reacción química que puede modificar su estructura molecular; si un compuesto rompe sus enlaces este libera energía llamada entalpía de reacción y el azúcar no está libre de romper sus enlaces con los silicatos del cemento. Cada enlace del azúcar tiene una entalpía de reacción aproximadamente de 356 kJ/mol; el azúcar tiene 30 posibles enlaces para romper; la entalpía de reacción del óxido de silicio es de 855 kJ/mol (uno de los compuestos comunes del cemento), como se puede observar la cantidad de

azúcar adicionada influye en el aumento de temperatura (reacción exotérmica), pero las cantidades adicionadas en estas pruebas de concreto no son las suficientes como para percibir un cambio de temperatura. En cambio, los óxidos en el cemento tienen entalpías más altas y hay más de estos compuestos; por esa razón, el cambio de temperatura es más influyente por el cemento que por el azúcar.

- **Peso unitario**

En este resultado se ve poco afectado por la adición de azúcar, pero tendría que disminuir, por la creación de pequeñas cantidades de aire (disminución de peso). En la unión del cemento y el azúcar genera agua químicamente adherida a estos dos, y el resto del agua funciona como lubricante para acomodar y disipar estos compuestos, el concreto con adición de azúcar acomoda mejor sus partículas y por esa razón, hay más partículas por unidad de volumen.

- **Contenido de aire**

El azúcar en sus ramificaciones de su estructura molecular tiene varios oxígenos e hidrógenos que pueden ser fácilmente arrebatados por otro compuesto con fuerzas electronegativas mayores; el oxígeno e hidrógeno libres deben ser unidos entre sí para formar una base (hidróxido) o pueden ser unidos por elementos similares para generar oxígeno e hidrógeno molecular, estas uniones se realizan para estabilizar estos elementos altamente reactivos. El arrastre de aire a la mezcla de concreto se debe a estas últimas uniones de oxígeno e hidrógeno molecular, ya que, estas tienen un estado gaseoso en condiciones normales de ambiente, al ser moléculas no polares y con fuerzas electronegativas grandes son poco reactivas con otros compuestos.

3.1.1. Tiempo de fraguado

Los resultados obtenidos en el ensayo, determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto, por su resistencia a la penetración según Norma NTG 41017 h12 (ASTM C-403), muestran una gran cantidad de datos para cada mezcla, debido a que cada media hora se tomó lectura de la resistencia a la penetración y se obtuvieron mezclas de hasta 21 horas de tiempo para su fraguado final; para resumir estos resultados y conocer el resultado más importante en este ensayo que es el tiempo de fraguado inicial y final, se mostrará solamente este resultado a continuación; todos los datos obtenidos en este ensayo se muestran en el anexo.

Tabla IX. **Tiempo de fraguado**

Mezcla	Tiempo inicial de fraguado NTG 41017 h12	Tiempo final de fraguado NTG 41017 h12
P	5 horas 38 minutos	7 horas 6 minutos
B-0,03 %	8 horas 30 minutos	10 horas 46 minutos
B-0,075 %	15 horas 31 minutos	18 horas 15 minutos
B-0,15 %	19 horas 30 minutos	21 horas 40 minutos
M-0,03 %	6 horas 36 minutos	9 horas 2 minutos
M-0,075 %	15 horas 35 minutos	18 horas 24 minutos
M-0,15 %	16 horas 18 minutos	20 horas 47 minutos

Fuente: elaboración propia.

El aumento del tiempo de fraguado es proporcional a la adición de azúcar sin importar el tipo, teniendo tiempos de fraguado mayores con la azúcar blanca, debido a su mayor pureza en el contenido de sacarosa que el azúcar morena. Los agentes oxidantes del cemento crean una polaridad en la molécula de la sacarosa, esta a su vez se une al agente oxidante, el cual se adhiere y crea una

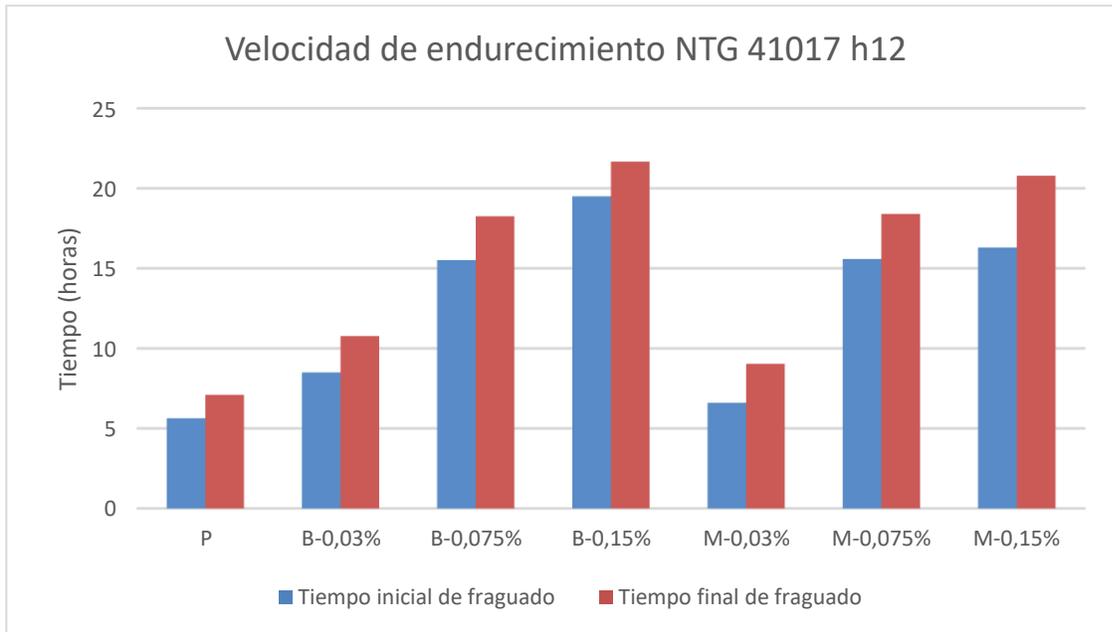
película que evita la hidratación; el aumento de sacarosa crea mayor cantidad de moléculas polarizadas y esto se refleja en el aumento del tiempo de fraguado (ver tabla IX).

En las reacciones químicas sucede un fenómeno que se llama equilibrio químico el cual establece que: las reacciones de los reactivos van poco a poco decayendo mientras la formación de los productos van poco a poco formándose hasta que el reactivo no tenga más reacciones (puede que exista aun reactivos sin reaccionar), y la reacción llegue a un equilibrio químico. El equilibrio químico se presenta como la finalización de las reacciones y un cese al transporte de materia de un punto a otro. El equilibrio químico se ve en el fraguado final, como el desprendimiento de la molécula polarizada de sacarosa del cemento y la hidratación de este, cabe recalcar que este proceso sucede poco a poco, el cual se ve en el aumento gradual de resistencia a la penetración en el ensayo de tiempo de fraguado.

Según el código ACI comité 211,1 establece que: “cuando se usan los aditivos químicos en dosis grandes tienen tendencias a inducir fuertes efectos colaterales como retardo excesivo y posiblemente un incremento del aire incluido”⁴. Por ello cantidades grandes de azúcar puede evitar permanentemente la hidratación del cemento y así evitar el fraguado. La naturaleza porosa de las puzolanas hace que en ellas sea absorbido una cierta cantidad de azúcar en sus partículas, debido a que en el experimento se utiliza un cemento con adición de puzolana, estas pueden evitar en cierta forma el retardo en el fraguado. El uso de azúcar como aditivo en otros tipos de cemento carentes de puzolana puede tener tiempos de fraguado mayores.

⁴American Concrete Institute. *Proporcionamiento de mezclas concreto normal, pesado y masivo*. p. 15.

Figura 26. **Tiempo de fraguado**



Fuente: elaboración propia.

El ensayo, determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto, por su resistencia a la penetración, tiene dos puntos importantes a evaluar: fraguado inicial y el final; en la figura 26 se puede observar estos resultados donde el uso mayor de azúcar influye en el tiempo de fraguado inicial, pero cuando el equilibrio químico llega a suceder las mezclas presentan un promedio de dos horas y media para que suceda el fraguado final. El fraguado inicial establece el punto de partida para la hidratación y endurecimiento del cemento, por ello las diferencias en los tiempos de fraguado inicial y final son muy parecidos. Además, desde el fraguado inicial la molécula de sacarosa juega otro papel más importante que ser solo una capa que evita la hidratación, el cual es formar parte de la red cristalina del sólido que se está formando.

3.2. Concreto endurecido

Al suceder la hidratación de las partículas de cemento, el concreto adquiere lentamente resistencia, impermeabilidad y durabilidad, a medida que avanza la formación de la red cristalina. Las propiedades siguen mejorando a lo largo de cierto número de años; los cambios más notables se producen en los primeros días o las semanas que siguen a la mezcla del concreto. Las propiedades para seguir mejorando necesitan un ambiente húmedo de por lo menos el 80 % o tener un concreto sumergido en agua, el concreto para evitar lixiviación de la cal libre, producto de la hidratación de la alita y belita se debe saturar con cal el agua.

Los resultados de los ensayos al concreto endurecido se muestran a continuación.

3.2.1. Resistencia a compresión

Es el ensayo de calidad que se realiza al concreto; debido a que el concreto es un material frágil, este tiene una resistencia mayor a cargas que inducen los esfuerzos de compresión, esta característica se debe a la forma de los cristales formados por la unión de los silicatos con el agua. En la resistencia a compresión cada material en el concreto juega un papel importante para lograr esfuerzos esperados, por lo cual los análisis de laboratorio para dichos materiales y el criterio del diseñador para aceptarlos o no.

Los resultados en los ensayos de resistencia a compresión muestran diferencias claras al usar azúcar blanca y morena como aditivo, estos resultados se muestran a continuación.

Tabla X. **Resistencia a compresión**

Edad de ruptura (días)	Resistencia mezcla P (kg/cm ²)	Resistencia mezcla 0,03% B (kg/cm ²)	Variación relativa de la resistencia de la mezcla con respecto a la mezcla P
3	140	179	28
7	205	234	14
28	310	352	14
56	366	413	13
105	394	460	17
		Resistencia mezcla 0,075% B (kg/cm ²)	
3	140	168	20
7	205	301	47
28	310	425	37
56	366	452	23
105	394	466	18
		Resistencia mezcla 0,15% B (kg/cm ²)	
3	140	45	-68
7	205	361	76
28	310	507	64
56	366	547	49
105	394	559	42
		Resistencia mezcla 0,03% M (kg/cm ²)	
3	140	204	46
7	205	241	18
28	310	336	8
56	366	409	12
105	394	451	14

Continuación de la tabla X.

		Resistencia mezcla 0,075% M (kg/cm ²)	
3	140	114	-19
7	205	234	14
28	310	350	13
56	366	391	7
105	394	367	-7
		Resistencia mezcla 0,15% M (kg/cm ²)	
3	140	37	-74
7	205	48	-77
28	310	NPR*	-----
56	366	NPR*	-----
105	394	NPR*	-----



Mezcla con mejores resultados

*NPR: No presenta resultados.

Fuente: elaboración propia.

En la tabla X, la cuarta columna, “resistencia respecto a mezcla patrón”, muestra el porcentaje que supera, si es positivo, o el porcentaje que decrece, si es negativo; la resistencia de las mezclas con adición de azúcar respecto a la mezcla patrón (mezcla sin azúcar). Donde la resistencia de la mezcla patrón es la resistencia esperada.

En los resultados de los ensayos a compresión es evidente que el uso de azúcar es beneficioso para aumentar dicha resistencia, la azúcar blanca tiene un mejor desempeño como se esperaba, debido a la mayor pureza. Esta falta de

pureza en el azúcar morena puede afectar negativamente en la resistencia como se muestra en los resultados con 0,075 % y 0,15 %, donde los números negativos en la columna de comparación con la mezcla patrón, evidencia que la resistencia está por debajo de la esperada. En la figura 16 se puede apreciar que la molécula de azúcar solo contiene hidrógeno, carbono y oxígeno; esta molécula no contiene elementos como el potasio y sodio que son los elementos conocidos como álcalis, además, no contiene magnesio que hace que la resistencia del concreto disminuya; estos tres elementos se deben evitar en el cemento, agregados y aditivos.

La mezcla con 0,15 % de azúcar blanca es la que mejores resultados da, a excepción del ensayo a compresión a 3 días; esta baja resistencia se debe a la falta de hidratación en las partículas de cemento y que la sacarosa en el concreto aún no ha alcanzado el equilibrio químico respecto al fraguado, pero este concreto a 7 días presenta un concreto con mayor resistencia que el concreto patrón a 28 días; la resistencia a 7 días de este concreto es similar a la resistencia del concreto patrón a 56 días. Donde su resistencia a 105 días es de 559 kg/cm² (7 955 PSI) y la resistencia de la mezcla patrón es de 394 kg/cm² (5 600 PSI).

Los resultados en el ensayo a compresión en el concreto con adición de 0,15 % de azúcar morena, da resistencias muy bajas a las esperadas y los cilindros durante su fraguado mostraron grietas (ver figura 27) a los 7 días de estar inmersos en agua para su fraguado; esto indica un concreto que ya alcanzó su falla antes de ser sometidos a carga, algunos cilindros presentan pérdida de una parte, por ello los resultados de más de 7 días no se reportan. Cabe destacar que el único cilindro que no presentó desprendimiento de sus partes, pero mostraba grietas, fue ensayado a compresión a 105 días y esta resistencia fue aproximadamente de 316 kg/cm² (4600 PSI); este resultado evidencia que el

azúcar si funciona como aditivo para el concreto, pero todo depende de la pureza y la cantidad de azúcar adicionada.

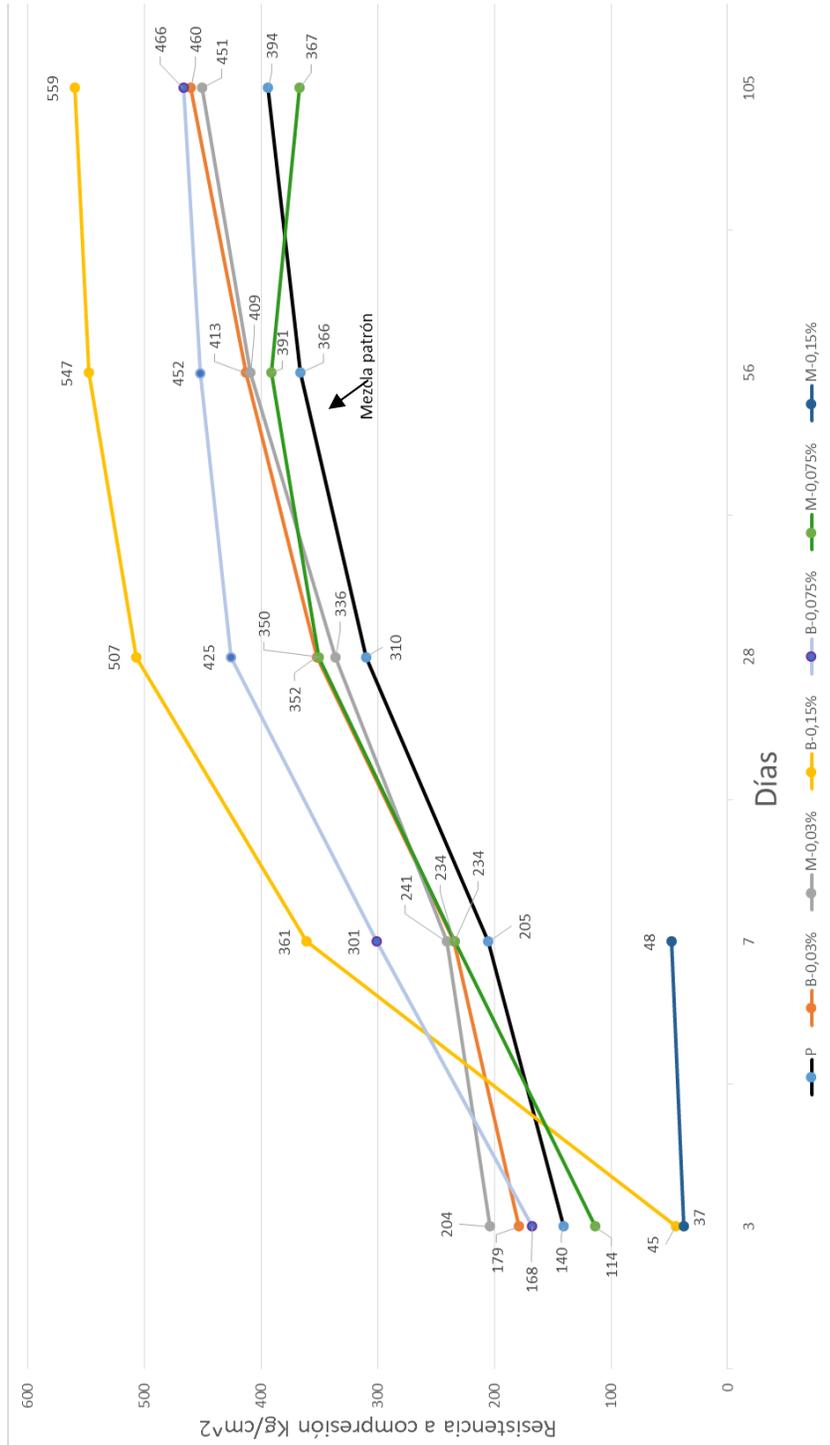
Figura 27. **Grietas en cilindro con 0,15 % de azúcar morena**



Fuente: elaboración propia.

Solo en los cilindros con esta cantidad y tipo de azúcar adicionada mostraron grietas, y al ser desencofrados, estos no se pudieron identificar con crayón de cera porque el crayón rayó este concreto, teniendo así una dureza menor que la del crayón de cera.

Figura 28. Resistencia a compresión



Fuente: elaboración propia.

En el proceso de fraguado, el azúcar realizó, además, del retardo, un importante trabajo: distribuir las partículas de cemento a lo largo de la mezcla; esta distribución se logra con la creación de una polaridad en la molécula de sacarosa, esta distribución no solo hace que la mezcla sea más homogénea sino también que el área superficial de la partícula de cemento aumente para así lograr una mejor hidratación; además, crea agua químicamente adherida al conjunto cemento-azúcar para su futura hidratación, todo este proceso se ve claro en la figura 28 a excepción de la mezcla con 0,15 % de azúcar morena. Al tener el agua adherida al conjunto cemento-azúcar solo falta esperar a que el equilibrio químico de los silicatos con la sacarosa ocurra para que el agua pueda entrar en esta molécula e hidratar el cemento; entre más agrupaciones de estos tres compuestos existan más será el aumento de resistencia como se ve en la mezcla con 0,15 % de azúcar blanca.

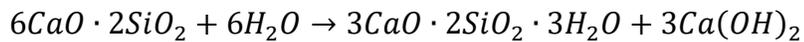
El aumento de resistencia ocurre cuando el equilibrio químico entre las fuerzas electrostáticas de los silicatos del cemento y la sacarosa alcanza un estado de mínima energía; es en este punto donde las fuerzas electrostáticas del agua pueden entrar e hidratar el cemento. La molécula del agua tiene una forma molecular en forma de V hace que la molécula tenga una polaridad parcial, esta polaridad parcial hace que la molécula del agua sea fácilmente atraída por otros compuestos, en este caso los silicatos.

3.2.1.1. Hidratación del cemento

Para poder entender mejor el aumento de resistencia en las mezclas, es necesario ver los procesos de hidratación de los compuestos principales del concreto. En presencia de agua, los silicatos y aluminatos del cemento forman productos de hidratación o hidratos, que resultan en una masa firme y dura

conocida como pasta de cemento. Las reacciones de hidratación aproximadas son las siguientes:

Para C₃S (alita):



Para C₂S (belita):



C₃S y C₂S son los principales compuestos aglutinantes del cemento, de los cuales el primero se hidrata más rápidamente que el segundo. El producto $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$ es el compuesto que anteriormente se conocía como tobermorita, siendo este producto el responsable de la resistencia en el concreto. De las dos reacciones anteriores se puede observar un desprendimiento de cal o $Ca(OH)_2$ en forma cristalina; esta cal libre, como se conoce comúnmente, es el compuesto atacado por los sulfatos, bióxido de carbono o compuestos con la suficiente fuerzas electronegativas como para arrebatarse el calcio de la cal, un concreto atacado por estos agentes se presenta como un descascaramiento en las partes superficiales. La puzolana del cemento reacciona con esta cal libre para formar más redes cristalinas que ayuda a la resistencia, como se puede observar en la reacción de la alita la cal libre es tres veces mayor que en la belita.

En la figura 28, al observar la tendencia de cualquier mezcla de concreto (a excepción de la mezcla con 0,15% de azúcar morena), se puede ver que a edades mayores de 7 días esta cal libre reaccionada con la puzolana, es una de las causantes del aumento de resistencia a edades futuras. El uso de azúcar hace que la alita y belita sean hidratadas en mayor cantidad generando así mayor

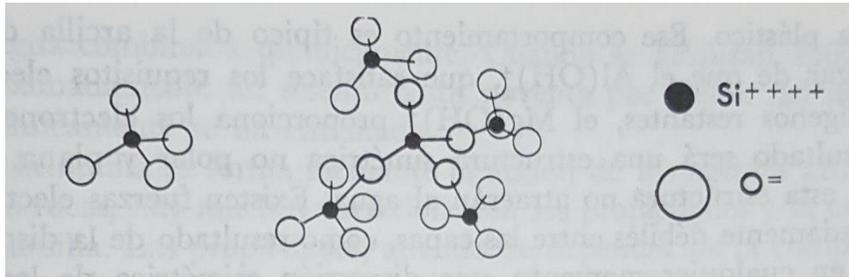
cantidad de cal libre; y a mayor cantidad de cal libre mayor cantidad hay para reaccionar con la puzolana para así aumentar más la resistencia a edades mayores. Debido a la reacción de esta cal libre con la puzolana, el concreto con adición de azúcar es más resistente al ataque de sulfatos, bióxido de carbono y otros agentes químicos agresivos. Luego de la hidratación del azúcar con los silicatos, el azúcar queda en un estado de bajo potencial químico, esto indica una disminución del azúcar a reaccionar con agentes externos.

3.2.1.2. Estructura submicroscópica

Todo sólido presenta una forma cristalina donde el ordenamiento y la compactación de esta estructura hace un sólido con mejores propiedades mecánicas; claro ejemplo de esto es el diamante y el carbón donde el elemento común entre ellos es el carbono, pero donde un ordenamiento crea el mineral más duro de la tierra (diamante).

El elemento más importante en el cemento para esta estructura es el silicio; el silicio tiene características parecidas al carbono esto es porque los dos pertenecen a la misma familia en la tabla periódica, pero el carbono tiene más fuerza electronegativa y puede manejar 2 números más de valencia por ello la estructura de la sacarosa es más diversa que la de los silicatos. La característica más importante que comparten es el fenómeno de la hibridación de sus orbitales, el cual pone a su disposición electrones de un subnivel inferior para así poder tener un número de valencia de 4, esto se puede ver en la figura 29.

Figura 29. **Estructura del SiO₂**



Fuente: KEYSER, Carl A. *Ciencia de materiales para ingeniería*. p. 275.

El ejemplo más simple para representar la estructura del concreto es ver una antena de telefonía móvil, esta estructura de triángulos hace una estructura estable y resistente. El azúcar, como se mencionó, crea una dispersión de las partículas de cemento; al tener partículas más dispersas, las estructuras de la figura 29 puede seguir creciendo sin dejar partes de la pasta de cemento sin esta estructura, donde la estructura de los silicatos no puede llegar a ser llenados por la presencia de la cal libre, esta cal es reaccionada con la puzolana para seguir con esta estructura. El compuesto principal de una puzolana es óxido de silicio más el agua presente gracias a la adherencia con el azúcar, crea una red parecida a la de los silicatos de la alita y belita. El azúcar ayuda a que toda esta red cristalina del concreto sea más dispersa, más estructurada y llena los posibles huecos dejados por la cal libre, además, al tener agua químicamente adherida a ella ayuda a una mayor hidratación.

3.2.1.2.1. **Energía libre de Gibbs**

Es un potencial termodinámico y es una propiedad extensiva (depende de la cantidad de materia), explicado de la forma más simple: es una función termodinámica que indica la cantidad de energía que el sistema tiene para

realizar una reacción química. El ejemplo más simple para entender esta función es una batería de carro: entre más energía libre de Gibbs tenga, mayor será la energía que tiene la batería y mayor será la vida útil de esta. La ecuación de la energía libre es la siguiente:

$$dG = VdP - SdT$$

Donde:

- G: energía libre de Gibbs
- V: volumen
- P: presión
- S: entropía
- T: temperatura

Los términos d en la ecuación son diferenciales, donde el volumen y la entropía son constantes.

Como se mencionó antes, el carbón y el diamante comparten el mismo y único elemento es su estructura y es el carbono, lo que hace que el diamante tenga mejores propiedades mecánicas que el carbón; es su estructura en forma de triángulos unidos entre sí para formar una red, parecido a una telaraña, lo que hizo que la estructura del diamante sea de esta forma son las condiciones a las que se encontraba, estas condiciones son las altas temperaturas y presiones que se encuentran en el interior de la tierra. En las mezclas de concreto es casi imposible modificar estas condiciones ambientales, por tal razón se debe buscar otras formas para mejorar esta estructura submicroscópica, la ecuación de la energía libre de Gibbs da estos parámetros para mejorar la estructura.

Se necesita mayor energía libre para poder formar mejor los cristales, en la ecuación se observa que el signo negativo está acompañado de la expresión de entropía y temperatura, entonces, no se debe aumentar estas para tener mejores cristales en el concreto. La forma de no aumentar esta es con una entropía baja y un cambio muy pequeño de la temperatura; la forma de lograr esto es con un retardante como el azúcar, donde el retardo disminuye la entropía y la hidratación del cemento ocurre a velocidades pequeñas, esto hace que la temperatura no aumente mucho. La energía libre es utilizada en el concreto para hacer una estructura más compacta, debido al aumento de presión en el interior, y este aumento de la compactación de los cristales se observa en un aumento de resistencia a la compresión en el concreto como se ve en la figura 28.

Si la reacción química de la hidratación del cemento ocurre rápidamente se va a obtener resistencias altas a edades tempranas, pero a edades de más de 7 días este aumento de resistencia disminuye significativamente, la responsable de esta mala estructura de los cristales es el aumento de entropía por la espontaneidad del proceso y un aumento de la temperatura.

El uso de azúcar como aditivo hace que los cambios de volumen por expansión en el concreto durante su fraguado sean disminuidos por el aumento de presión en el concreto.

3.2.2. Carbonatación

En los ensayos de carbonatación todos los cilindros presentaron un concreto alcalino, esto indica que las cantidades de azúcar adicionadas no afectan la alcalinidad del concreto. Durante el desencofrado de los cilindros en alguno de ellos se pudo apreciar unas gotas de un líquido con sabor a limón en la parte superior donde existía carbonatación de la pasta, este líquido es ácido

cítrico y se obtuvo por la fermentación del azúcar en el concreto, por tal razón los ensayos de carbonatación a mayores días es poco probable que exista un cambio en la alcalinidad, ya que el azúcar en el concreto tuvo una reacción química a menos de 5 días.

Figura 30. **Carbonatación del concreto en la parte superior**



Fuente: elaboración propia.

La carbonatación del concreto en la parte superior del cilindro es fácilmente apreciable, pero en los cilindros que se realizaron extracciones de núcleo; en la figura 31, se pudo apreciar que esta carbonatación de la pasta es solamente en la parte superior del cilindro, siendo esta sección de la parte superior de 2 mm aproximadamente, como se puede ver en la siguiente figura 30, el interior del cilindro muestra un concreto bien consolidado sin la existencia de carbonatación.

Figura 31. **Testigo con extracción de núcleo**



Fuente: elaboración propia.

La carbonatación es el resultado de una reacción química de la cal libre con el bióxido de carbono del ambiente, donde el bióxido de carbono le arrebató el calcio a la cal para formar el carbonato de calcio (CaCO_3). Esta reacción se da por la evaporación del agua en la parte superior del cilindro (figura 31) y la rapidez de este proceso, ya que esta cal libre tendría que reaccionar con la puzolana, pero esta reacción es lenta, para evitar este resultado a edades futuras.

CONCLUSIONES

1. El uso de azúcar blanca o morena como aditivo en mezclas de concreto es beneficioso, sí y solo sí es usado en cantidades controladas. Los dos tipos de azúcar muestran un comportamiento similar en la modificación del tiempo de fraguado y resistencia a compresión, siendo estos un aumento proporcional a la cantidad de azúcar adicionada.
2. Los ensayos de tiempo de fraguado demuestran que el azúcar al alcanzar el equilibrio químico con los componentes del cemento empieza la hidratación del cemento, pero al tener agua químicamente adherida a la molécula de azúcar, la resistencia a compresión se ve aumentada por la mayor hidratación a un nivel químico.
3. Los ensayos de carbonatación en los cilindros recién fracturados no presentan pérdida de alcalinidad para ningún tipo y cantidad de azúcar adicionada.
4. El concreto con adición de azúcar blanca da mejor desempeño en su resistencia a compresión que las mezclas con azúcar morena, esto se debe a la pureza de la azúcar blanca; posiblemente estas impurezas que pueda tener el azúcar morena se debe evitar por las reacciones con los silicatos formados del concreto a edades mayores a los 56 días.
5. En cualquier tipo de construcción la cantidad de 0,03 % de azúcar blanca como aditivo, es la que mejor desempeño da por su aumento de

resistencia y un aumento de 3 horas aproximadamente en el fraguado final de la mezcla de concreto.

6. Los ensayos de carbonatación demuestran que la alcalinidad no es perdida por la adición de azúcar en la mezcla, al contrario, el azúcar aumenta la hidratación de los silicatos uno de los productos de esta reacción es la cal libre, y esta a su vez es reaccionada con la puzolana del cemento; esta disminución de la cal libre aumenta la resistencia del concreto a los sulfatos y a la creación de carbonatos.
7. Luego de la hidratación de los componentes del cemento, el azúcar queda en la red cristalina del concreto químicamente atrapada en los silicatos, por tal razón una reacción con agentes externos es poco probable.
8. La reacción química del azúcar en el concreto depende del tipo de cemento y de los agregados, debido a que un cemento con puzolana puede absorber el azúcar, así como los agregados, y evitar la reacción química del azúcar con el cemento para retardar el fraguado.

RECOMENDACIONES

1. No utilizar el azúcar como aditivo en la construcción sin previa realización de una mezcla de prueba, esto para conocer el comportamiento que tendrá la misma, con los agregados y el cemento.
2. Tener en cuenta que la reacción del azúcar con el concreto en estado plástico tarda unos minutos, esto para apreciar la disminución de agua de diseño, para alcanzar la trabajabilidad deseada. El azúcar se debe añadir al agua y revolverla para que sea mejor distribuido en la concretera. Asimismo, abstenerse de utilizar toda el agua que necesitó la mezcla patrón, por la disminución de esta al usar azúcar.
3. Considerar el aumento en la cantidad de 0,03 % de azúcar blanca, puede poner en riesgo la calidad del concreto, esto por una disminución en la resistencia a compresión a edades tempranas. La cantidad máxima de azúcar depende del fraguado final, ya que una adición alta de azúcar puede evitar permanentemente el fraguado por la acumulación excesiva de la sacarosa en la superficie de la partícula de cemento.
4. Darle una apropiada técnica de curado al concreto con adición de azúcar, esto por el aumento del tiempo de fraguado que conlleva a una evaporación del agua de la mezcla, y la creación de un área superficial débil por una relación A/C alta; esta sección es susceptible a la reacción del dióxido de carbono del ambiente y generando el efecto de carbonatación.

5. Considerar un estudio de adición de azúcar blanca en el concreto, utilizando cemento portland tipo III; esto para corregir los tiempos de fraguado altos que se tienen con el cemento portland tipo I PM; asimismo, adicionar un tipo de puzolana a este para evitar ataques químicos por el alto contenido de cal libre en el concreto y así tener una resistencia mayor a edades superiores a los 28 días.
6. Tener en cuenta el concreto con adición de azúcar para la construcción de cuartos de refrigeración y ambientes similares. El aumento de contenido de aire en la mezcla por el azúcar puede mejorar el desempeño en estos ambientes de congelación.
7. Considerar un estudio de adición de azúcar blanca en mezclas para la elaboración de mampuestos para mejorar la resistencia a sulfatos y sales por el bajo potencial químico logrado, además, por la alta resistencia alcanzada en edades menores a 7 días.

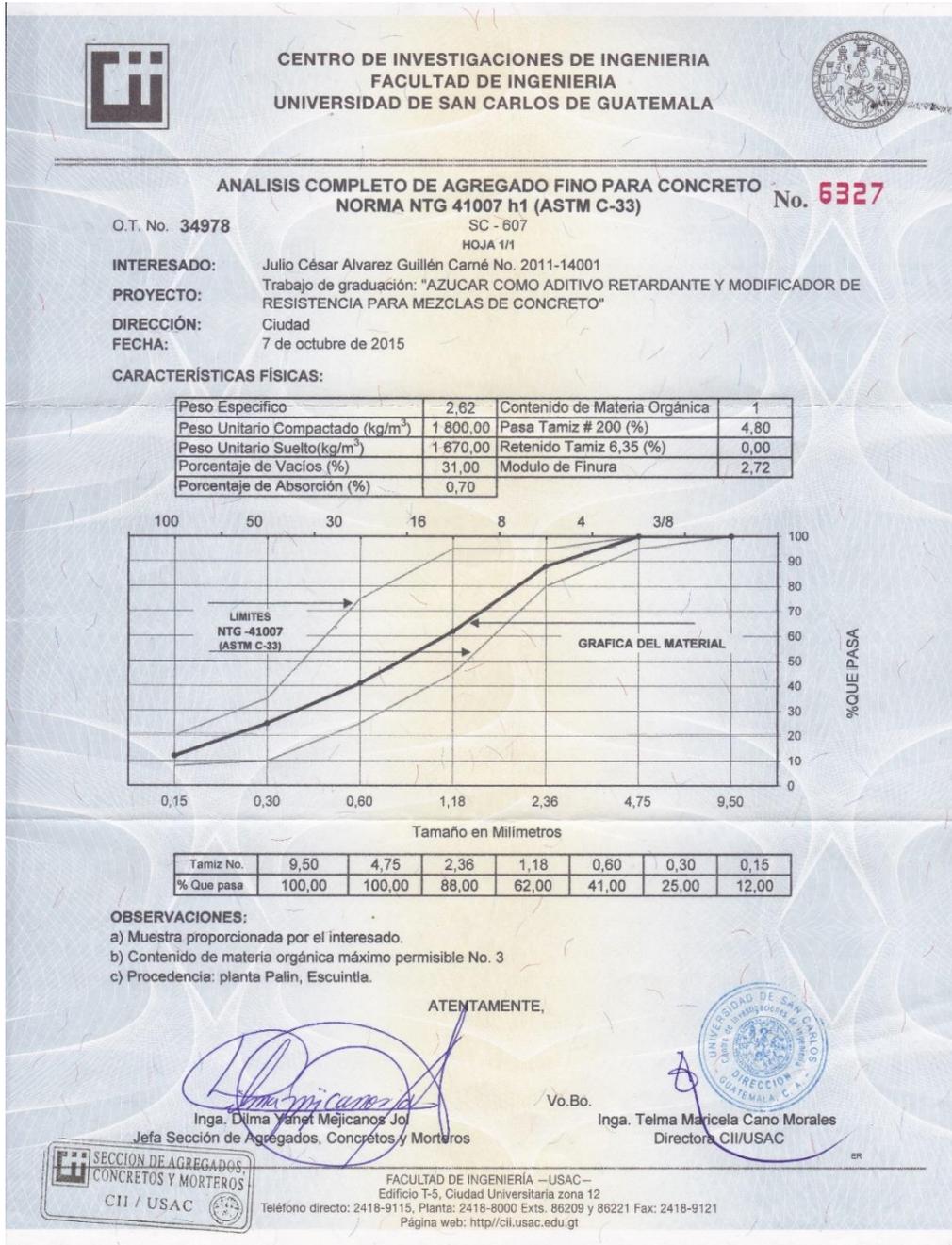
BIBLIOGRAFÍA

1. American Concrete Institute. *Proporcionamiento de mezclas concreto normal, pesado y masivo*. EE.UU: Comité ACI 211.1, 2004. 56 p.
2. BUSTILLOS MATÍAS, Carlos Enrique; CAJAHUACA AQUINO, Joanna Luisa; PEREIRA PALACIOS, Alexandra. *Facilidad en la colocación del concreto en techos en climas cálidos, empleando el azúcar como aditivo retardante*. [En línea]. <https://www.scribd.com/document/247807286/Azucar-como-Aditivo-Retardante>. [Consulta: 7 de marzo de 2015].
3. Centro de Comercio Internacional UNCTAD-GATT. *El mercado de los productos químicos a base de sacarosa en especial el ácido cítrico, el sorbitol y los ésteres del azúcar*. Ginebra: UNCTAD-GATT, 1972. 118 p.
4. KEYSER, Carl A. *Ciencia de materiales para ingeniería*. México: Limusa, 1993. 460 p.
5. KOSMATKA, Steven H. et al. *Diseño y control de mezclas de concreto*. EE. UU: Portland Cement Association, 2004. 456 p.
6. KUMAR MEHTA, P.; J.M. MONTEIRO, Paulo. *Concreto: estructura, propiedades y materiales*. México: Prentice-Hall, 1998. 390 p.

7. LEVINE, Ira N. *Fisicoquímica*. 4ª ed. Vol 1. Madrid: McGraw-Hill, 2004. 505 p.
8. NAWY, Edward. *Concreto reforzado: un enfoque básico*. México: Prentice Hall Hispanoamérica, 1988. 473 p.
9. NEVILLE, Adam; BROOKS, J.J. *Tecnología del concreto*. México: Trillas, 1998. 329 p.
10. RAMÍREZ JUÁREZ, Jenniffer Roxanna. *Determinación de sacarosa invertida por efecto de recirculación de jugo clarificado de caña de azúcar, en un evaporador de placas de película descendente*. Trabajo de graduación de Inga. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011. 73 p.
11. SOTOLONGO; GAYOSO, R.; GÁLVEZ, R. *Contribución al estudio de la sacarosa como aditivo retardador de la hidratación del cemento*. Cuba: Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de Construcción, 1993. 3 p.

ANEXOS

Anexo 1. Informe del análisis completo de agregado fino



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 2. Informe del análisis completo de agregado grueso



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**ANÁLISIS COMPLETO DE AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO
NORMA NTG 41007 h1 (ASTM C-33)**

INFORME No. S.C. - 583
HOJA 1/1

O.T. No. 34979

INTERESADO: Julio César Álvarez Guillén, Carné No. 2011 14001.

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Azúcar como Aditivo Retardante y Modificador de Resistencia para Mezclas de Concreto".

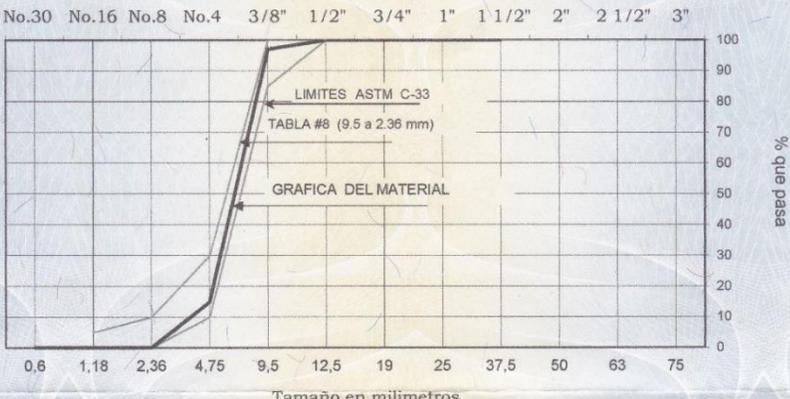
DIRECCIÓN: Ciudad.

FECHA: 24 de septiembre de 2015.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

Peso Específico	2,67	Pasa Tamiz # 200 (%)	1,00
Peso Unitario Compactado (kg/m ³)	1520,00	Porcentaje de Vacíos (%)	43,00
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1440,00	Modulo de Finura	5,88
Porcentaje de absorción	0,80		

No. 6302



Tamaño en milímetros

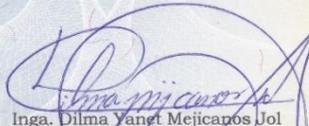
Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16
% Que pasa	100,0	100,00	100,00	100,00	97,00	15,00	0,00	0,00

OBSERVACIONES:

a) Muestra proporcionada por el interesado.

b) Tamiz # 200, procedimiento A, lavado con agua corriente.

ATENCIÓN,

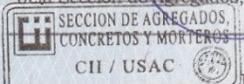


Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.



Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona-12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

C.V.

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 3. Informe diseño práctico de mezcla patrón



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO No. **08382**
NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)
 INFORME SACM - 483
HOJA 1/7

O.T. No. 34980
O.T. No. 34981

INTERESADO: Julio César Alvarez Guillén Carné No. 2011-14001

PROYECTO: Trabajo de graduación : "AZÚCAR COMO ADITIVO RETARDANTE Y MODIFICADOR DE RESISTENCIA PARA MEZCLAS DE CONCRETO"

DIRECCIÓN: Ciudad

EMISIÓN DE INFORME: 7 de noviembre de 2016

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE COLOCACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA COLOCACIÓN	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/pig ²	TIPO DE FRACTURA
P-1	47-10/15	28/09/2015	01/10/2015	3	Mezcla patrón	12,860	15,220	30,310	56 000	13,70	1 990	E
P-2	48-10/15	28/09/2015	01/10/2015	3	Mezcla patrón	12,885	15,170	30,480	56 000	13,80	2 000	A
P-3	49-10/15	28/09/2015	05/10/2015	7	Mezcla patrón	12,940	15,110	30,423	81 000	20,10	2 920	C
P-4	50-10/15	28/09/2015	05/10/2015	7	Mezcla patrón	12,840	15,060	30,260	80 500	20,10	2 920	A
P-5	51-10/15	28/09/2015	26/10/2015	28	Mezcla patrón	12,905	15,205	30,577	122 500	30,00	4 350	B
P-6	52-10/15	28/09/2015	26/10/2015	28	Mezcla patrón	12,865	15,290	30,193	127 000	30,80	4 470	B
P-7	53-10/15	28/09/2015	23/11/2015	56	Mezcla patrón	12,960	15,185	30,353	146 000	35,90	5 210	B
P-8	54-10/15	28/09/2015	23/11/2015	56	Mezcla patrón	12,970	15,285	30,387	148 000	35,90	5 210	B
P-9	55-10/16	28/09/2015	11/01/2016	105	Mezcla patrón	12,890	15,290	30,357	160 000	38,80	5 630	B
P-10	56-10/16	28/09/2015	11/01/2016	105	Mezcla patrón	12,910	15,260	30,327	158 000	38,40	5 570	B

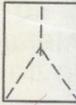
OBSERVACIONES :

- Diseño de mezcla realizado bajo condiciones de laboratorio.
- Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300,000 lbs.
- Dial utilizado para lectura de cargas: 300,000 lbs.
- Cilindros cabeceados según norma ASTM C-1231.
- Asentamiento de mezcla: **2,95" (7,5 cm)**
- Peso unitario de mezcla: **2 343 kg/m³**
- Contenido de aire de la mezcla: **1,4 %**
- Temperatura de la mezcla: **69,8 °F (21,0 °C)**
- Proporción de la mezcla: **1 : 2,04 : 2,21 : 0,51**

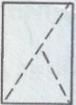
BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA



A. CONO



B. CONO Y CLIVAJE



C. CONO Y RUPTURA



D. CORTE



E. COLUMNAR

El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 4. Informe diseño práctico de mezcla con 0,03 % de azúcar blanca



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO
NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39) No. 00383

O.T. No. 34980
O.T. No. 34981

INTERESADO: Julio César Alvarez Guillén Carné No. 2011-14001

PROYECTO: Trabajo de graduación : "AZÚCAR COMO ADITIVO RETARDANTE Y MODIFICADOR DE RESISTENCIA PARA MEZCLAS DE CONCRETO"

DIRECCIÓN: Ciudad

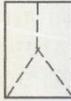
EMISIÓN DE INFORME: 7 de noviembre de 2016

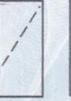
No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE COLOCACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA COLOCACIÓN	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²	TIPO DE FRACTURA
B-0,03%	57-10/15	28/09/2015	01/10/2015	3	0,03% de azúcar blanca	12,815	15,180	30,067	70 500	17,30	2 510	E
B-0,03%	58-10/15	28/09/2015	01/10/2015	3	0,03% de azúcar blanca	12,825	15,190	30,187	72 500	17,80	2 580	A
B-0,03%	59-10/15	28/09/2015	05/10/2015	7	0,03% de azúcar blanca	12,805	15,070	30,090	92 500	23,10	3 350	A
B-0,03%	60-10/15	28/09/2015	05/10/2015	7	0,03% de azúcar blanca	12,815	15,110	30,163	92 500	22,90	3 320	A
B-0,03%	61-10/15	28/09/2015	26/10/2015	28	0,03% de azúcar blanca	12,900	15,225	30,293	142 000	34,70	5 040	D
B-0,03%	62-10/15	28/09/2015	26/10/2015	28	0,03% de azúcar blanca	12,805	15,255	30,087	141 000	34,30	4 980	B
B-0,03%	63-10/15	28/09/2015	23/11/2015	56	0,03% de azúcar blanca	12,835	15,145	29,893	162 000	40,00	5 800	B
B-0,03%	64-10/15	28/09/2015	23/11/2015	56	0,03% de azúcar blanca	12,815	15,135	30,037	166 000	41,00	5 950	B
B-0,03%	65-10/16	28/09/2015	11/01/2016	105	0,03% de azúcar blanca	12,860	15,250	30,063	179 000	43,60	6 330	C
B-0,03%	66-10/16	28/09/2015	11/01/2016	105	0,03% de azúcar blanca	12,850	15,200	29,997	190 000	46,60	6 760	B

OBSERVACIONES :

- Diseño de mezcla realizado bajo condiciones de laboratorio.
- Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300,000 lbs.
- Dial utilizado para lectura de cargas: 300,000 lbs.
- Cilindros cabeceados según norma ASTM C-1231.
- Asentamiento de mezcla: **3,15" (8 cm)**
- Peso unitario de mezcla: **2 163 kg/m³**
- Contenido de aire de la mezcla: **1,6 %**
- Temperatura de la mezcla: **68,0 °F (20,0 °C)**
- Proporción de la mezcla: **1 : 2,04 : 2,21 : 0,50**
- Aditivo utilizado: **0,03% de azúcar blanca**

BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA




A. CONO B. CONO Y CLVAJE C. CONO Y RUPTURA D. CORTE E. COLUMNAR

El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 5. Informe diseño práctico de mezcla con 0,075 % de azúcar blanca



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO No. 00384
NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)
INFORME SACM - 483
HOJA 3/7

O.T. No. 34980
O.T. No. 34981

INTERESADO: Julio César Alvarez Guillén Carné No. 2011-14001

PROYECTO: Trabajo de graduación : "AZÚCAR COMO ADITIVO RETARDANTE Y MODIFICADOR DE RESISTENCIA PARA MEZCLAS DE CONCRETO"

DIRECCIÓN: Ciudad

EMISIÓN DE INFORME: 7 de noviembre de 2016

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE COLOCACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA COLOCACIÓN	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/pig ²	TIPO DE FRACTURA
B-0,075%	69-10	10/06/2016	13/06/2016	3	0,075% de azúcar blanca	12,955	15,210	30,583	67 500	16,50	2 390	B
B-0,075%	70-10	10/06/2016	13/06/2016	3	0,075% de azúcar blanca	12,880	15,195	30,367	67 000	16,40	2 380	B
B-0,075%	71-10	10/06/2016	17/06/2016	7	0,075% de azúcar blanca	13,065	15,130	30,443	122 500	30,30	4 400	D
B-0,075%	72-10	10/06/2016	17/06/2016	7	0,075% de azúcar blanca	13,045	15,195	30,437	117 000	28,70	4 160	B
B-0,075%	73-10	10/06/2016	08/07/2016	28	0,075% de azúcar blanca	12,980	15,160	30,267	170 000	41,90	6 080	B
B-0,075%	74-10	10/06/2016	08/07/2016	28	0,075% de azúcar blanca	12,950	15,180	30,233	169 000	41,50	6 020	C
B-0,075%	75-10	10/06/2016	05/08/2016	56	0,075% de azúcar blanca	13,080	15,225	30,377	180 000	44,00	6 380	E
B-0,075%	76-10	10/06/2016	05/08/2016	56	0,075% de azúcar blanca	13,060	15,230	30,317	182 500	44,60	6 470	B
B-0,075%	77-10	10/06/2016	23/09/2016	105	0,075% de azúcar blanca	12,970	15,170	30,140	182 500	44,90	6 520	B
B-0,075%	78-10	10/06/2016	23/09/2016	105	0,075% de azúcar blanca	13,060	15,215	30,220	190 000	46,50	6 750	E

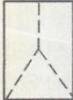
OBSERVACIONES :

- Diseño de mezcla realizado bajo condiciones de laboratorio.
- Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300,000 lbs.
- Dial utilizado para lectura de cargas: 300,000 lbs.
- Cilindros cabeceados según norma ASTM C-1231.
- Cilindros del No. 7 al 10 cabeceados según norma ASTM C-617
- Asentamiento de mezcla: **2,56" (6,5 cm)**
- Peso unitario de mezcla: **2 397 kg/m³**
- Contenido de aire de la mezcla: **1,7 %**
- Temperatura de la mezcla: **73,4 °F (23,0 °C)**
- Proporción de la mezcla: **1 : 2,04 : 2,21 : 0,48**
- Aditivo utilizado: **0,075% de azúcar blanca**

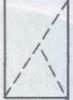
BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA



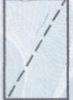
A. CONO



B. CONO Y CLIVAJE



C. CONO Y RUPTURA



D. CORTE



E. COLUMNAR

El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 6. Informe diseño práctico de mezcla con 0,15 % de azúcar blanca



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO No. 08385
NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)
 INFORME SACM - 483
HOJA 4/7

O.T. No. 34980
O.T. No. 34981
INTERESADO: Julio César Alvarez Guillén Carné No. 2011-14001
PROYECTO: Trabajo de graduación : "AZÚCAR COMO ADITIVO RETARDANTE Y MODIFICADOR DE RESISTENCIA PARA MEZCLAS DE CONCRETO"
DIRECCIÓN: Ciudad
EMISIÓN DE INFORME: 7 de noviembre de 2016

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE COLOCACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA COLOCACIÓN	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/in ²	TIPO DE FRACTURA
B-0,15%	79-10	20/05/2016	23/05/2016	3	0,15% de azúcar blanca	12,870	15,125	30,520	17 500	4,30	620	B
B-0,15%	80-10	20/05/2016	23/05/2016	3	0,15% de azúcar blanca	12,890	15,080	30,407	18 000	4,50	650	B
B-0,15%	81-10	20/05/2016	27/05/2016	7	0,15% de azúcar blanca	13,100	15,025	30,567	146 000	36,60	5 310	A
B-0,15%	82-10	20/05/2016	27/05/2016	7	0,15% de azúcar blanca	13,025	15,100	30,373	137 500	34,20	4 960	B
B-0,15%	83-10	20/05/2016	17/06/2016	28	0,15% de azúcar blanca	13,065	15,225	30,427	210 000	51,30	7 440	C
B-0,15%	84-10	20/05/2016	17/06/2016	28	0,15% de azúcar blanca	13,075	15,155	30,357	195 000	48,10	6 980	B
B-0,15%	85-10	20/05/2016	15/07/2016	56	0,15% de azúcar blanca	13,045	15,140	30,207	225 000	56,60	8 070	D
B-0,15%	86-10	20/05/2016	15/07/2016	56	0,15% de azúcar blanca	13,015	15,160	30,220	210 000	51,70	7 500	B
B-0,15%	87-10	20/05/2016	02/09/2016	105	0,15% de azúcar blanca	1,164	6,940	13,160	49 000	57,60	8 360	E
B-0,15%	88-10	20/05/2016	02/09/2016	105	0,15% de azúcar blanca	1,140	6,920	13,127	44 000	52,00	7 550	B

BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA

OBSERVACIONES :

- Diseño de mezcla realizado bajo condiciones de laboratorio.
- Muestras ensayadas en máquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300,000 lbs.
- Dial utilizado para lectura de cargas: 300,000 lbs.
- Cilindros cabeceados según norma ASTM C-1231.
- Cilindros No. 9 y 10 cabeceados según norma ASTM C-617
- Asentamiento de mezcla: **2,36" (6 cm)**
- Peso unitario de mezcla: **2 391 kg/m³**
- Contenido de aire de la mezcla: **2,4 %**
- Temperatura de la mezcla: **71,6 °F (22,0 °C)**
- Proporción de la mezcla: **1 : 2,04 : 2,21 : 0,47**
- Aditivo utilizado: **0,15% de azúcar blanca**







El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC–
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 7. Informe diseño práctico de mezcla con 0,03 % de azúcar morena



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO No. **08386**
NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)
 INFORME SACM - 483
HOJA 5/7

O.T. No. 34980
 O.T. No. 34981

INTERESADO: Julio César Alvarez Guillén Camé No. 2011-14001

PROYECTO: Trabajo de graduación : "AZÚCAR COMO ADITIVO RETARDANTE Y MODIFICADOR DE RESISTENCIA PARA MEZCLAS DE CONCRETO"

DIRECCIÓN: Ciudad

EMISIÓN DE INFORME: 7 de noviembre de 2016

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE COLOCACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA COLOCACIÓN	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/pig ²	TIPO DE FRACTURA
M-0,03%	89-10	20/05/2016	23/05/2016	3	0,03% de azúcar morena	12,895	15,145	30,343	82 500	20,40	2 960	A
M-0,03%	90-10	20/05/2016	23/05/2016	3	0,03% de azúcar morena	12,835	15,160	30,287	79 500	19,60	2 840	A
M-0,03%	91-10	20/05/2016	27/05/2016	7	0,03% de azúcar morena	13,045	15,200	30,223	97 000	23,80	3 450	A
M-0,03%	92-10	20/05/2016	27/05/2016	7	0,03% de azúcar morena	12,955	15,175	30,253	95 200	23,40	3 400	A
M-0,03%	93-10	20/05/2016	17/06/2016	28	0,03% de azúcar morena	12,930	15,230	30,327	140 000	34,20	4 960	C
M-0,03%	94-10	20/05/2016	17/06/2016	28	0,03% de azúcar morena	13,035	15,245	30,370	130 000	31,70	4 600	B
M-0,03%	95-10	20/05/2016	15/07/2016	56	0,03% de azúcar morena	12,950	15,195	30,270	166 000	40,70	5 910	B
M-0,03%	96-10	20/05/2016	15/07/2016	56	0,03% de azúcar morena	13,060	15,170	30,420	160 000	39,40	5 720	B
M-0,03%	97-10	20/05/2016	02/09/2016	105	0,03% de azúcar morena	13,090	15,170	30,447	185 000	45,50	6 600	B
M-0,03%	98-10	20/05/2016	02/09/2016	105	0,03% de azúcar morena	13,030	15,195	33,333	175 000	42,90	6 220	B

OBSERVACIONES :

a) Diseño de mezcla realizado bajo condiciones de laboratorio.

b) Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300,000 lbs.

c) Dial utilizado para lectura de cargas: 300,000 lbs.

d) Cilindros cabeceados según norma ASTM C-1231.

e) Asentamiento de mezcla: **2,76" (7 cm)**

f) Peso unitario de mezcla: **2 224 kg/m³**

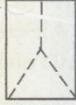
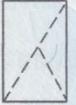
g) Contenido de aire de la mezcla: **1,5 %**

h) Temperatura de la mezcla: **75,2 °F (24,0 °C)**

i) Proporción de la mezcla: **1 : 2,04 : 2,21 : 0,45**

k) Aditivo utilizado: **0,03% de azúcar morena**

BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA



A. CONO B. CONO Y CLIVAJE C. CONO Y RUPTURA D. CORTE E. COLUMNAR

El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo.
 Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 8. Informe diseño práctico de mezcla con 0,075 % de azúcar morena



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO No. 08387
NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)
INFORME SACM - 483
HOJA 6/7

O.T. No. 34980
O.T. No. 34981

INTERESADO: Julio César Alvarez Guillén Carné No. 2011-14001

PROYECTO: Trabajo de graduación : "AZÚCAR COMO ADITIVO RETARDANTE Y MODIFICADOR DE RESISTENCIA PARA MEZCLAS DE CONCRETO"

DIRECCIÓN: Ciudad

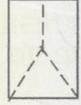
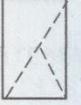
EMISIÓN DE INFORME: 7 de noviembre de 2016

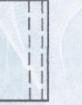
No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE COLOCACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA COLOCACIÓN	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA MPa	RESISTENCIA lb/pig ²	TIPO DE FRACTURA
M-0,075%	112-10	10/06/2016	13/06/2016	3	0,075% de azúcar morena	12,820	15,205	30,183	46 000	11,30	1 640	B
M-0,075%	113-10	10/06/2016	13/06/2016	3	0,075% de azúcar morena	12,890	15,215	30,460	46 000	11,00	1 600	B
M-0,075%	114-10	10/06/2016	17/06/2016	7	0,075% de azúcar morena	13,110	15,225	30,527	96 000	23,20	3 370	D
M-0,075%	115-10	10/06/2016	17/06/2016	7	0,075% de azúcar morena	13,050	15,200	30,397	92 500	22,70	3 290	C
M-0,075%	116-10	10/06/2016	08/07/2016	28	0,075% de azúcar morena	13,145	15,135	30,563	142 500	35,20	5 110	B
M-0,075%	117-10	10/06/2016	08/07/2016	28	0,075% de azúcar morena	13,100	15,270	30,413	137 500	33,40	4 850	B
M-0,075%	118-10	10/06/2016	05/08/2016	56	0,075% de azúcar morena	13,070	15,235	30,300	162 000	39,50	5 730	B
M-0,075%	119-10	10/06/2016	05/08/2016	56	0,075% de azúcar morena	12,985	15,240	30,160	152 500	37,20	5 400	D
M-0,075%	120-10	10/06/2016	23/09/2016	105	0,075% de azúcar morena	12,920	15,210	30,070	147 000	36,00	5 220	B
M-0,075%	121-10	10/06/2016	23/09/2016	105	0,075% de azúcar morena	12,995	15,210	30,207	147 000	36,00	5 220	B

OBSERVACIONES :

- Diseño de mezcla realizado bajo condiciones de laboratorio.
- Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300,000 lbs.
- Dial utilizado para lectura de cargas: 300,000 lbs.
- Cilindros cabeceados según norma ASTM C-1231.
- Cilindros del No. 7 al 10 cababeceados según norma ASTM C-617
- Asentamiento de mezcla: **3,15" (8 cm)**
- Peso unitario de mezcla: **2 403 kg/m³**
- Contenido de aire de la mezcla: **1,9 %**
- Temperatura de la mezcla: **71,6 °F (22,0 °C)**
- Proporción de la mezcla: **1 : 2,04 : 2,21 : 0,46**
- Aditivo utilizado: **0,075% de azúcar morena**

BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA



El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 9. Informe diseño práctico de mezcla con 0,15 % de azúcar morena



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO No. 08388
NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)
INFORME SACM - 483
HOJA 7/7

O.T. No. 34980
O.T. No. 34981

INTERESADO: Julio César Alvarez Guillén Carné No. 2011-14001

PROYECTO: Trabajo de graduación : "AZÚCAR COMO ADITIVO RETARDANTE Y MODIFICADOR DE RESISTENCIA PARA MEZCLAS DE CONCRETO"

DIRECCIÓN: Ciudad

EMISIÓN DE INFORME: 7 de noviembre de 2016

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE COLOCACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA COLOCACIÓN	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/pulg ²	TIPO DE FRACTURA
M-0,15%	122-10	20/05/2016	23/05/2016	3	0,15% de azúcar morena	12,760	15,165	30,460	14 000	3,50	510	B
M-0,15%	123-10	20/05/2016	23/05/2016	3	0,15% de azúcar morena	12,910	15,025	30,410	15 000	3,80	550	B
M-0,15%	124-10	20/05/2016	27/05/2016	7	0,15% de azúcar morena	13,100	14,965	30,510	19 000	4,80	700	C
M-0,15%	125-10	20/05/2016	27/05/2016	7	0,15% de azúcar morena	13,015	15,110	30,397	18 700	4,60	670	B

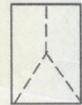
OBSERVACIONES :

- Diseño de mezcla realizado bajo condiciones de laboratorio.
- Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300,000 lbs.
- Dial utilizado para lectura de cargas: 300,000 lbs.
- Cilindros cabeceados según norma ASTM C-1231.
- Asentamiento de mezcla: **3,94" (10 cm)**
- Peso unitario de mezcla: **2 369 kg/m³**
- Contenido de aire de la mezcla: **2,3 %**
- Temperatura de la mezcla: **73,4 °F (23,0 °C)**
- Proporción de la mezcla: **1 : 2,04 : 2,21 : 0,48**
- Aditivo utilizado: **0,15% de azúcar morena**
- Cilindros del No.5 al 10 no reportan resultados debido a que no soportan el curado.

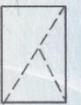
BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA



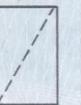
A. CONO



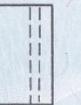
B. CONO Y CLIVAJE



C. CONO Y RUPTURA



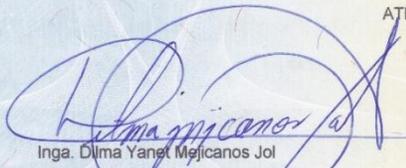
D. CORTE



E. COLUMNAR

El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENTAMENTE,



Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.



Ing. Francisco Javier Quirón de la Cruz.
Director CII/USAC



SECCION DE AGREGADOS,
CONCRETOS Y MORTEROS
CII / USAC

FACULTAD DE INGENIERIA –USAC–
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

LLAC.

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 10. Informe del ensayo tiempo de fraguado en mezclas de concreto patrón



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE MEZCLAS DE CONCRETO
POR SU RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN** No. 08239
NORMA NTG 41017 h12 (ASTM 403/C403M-08)
 INFORME SACM - 367
 HOJA 1/7

O. T. 34982

INTERESADO: Julio César Alvarez Guillén. Carné No. 2011-14001

PROYECTO: Trabajo de graduación "Azucar como aditivo retardante y modificador de resistencia para mezclas de concreto"

DIRECCIÓN: Ciudad

EMISIÓN DE INFORME: 8 de septiembre de 2016

Cantidad en masa de materiales por metro cúbico:

Cemento Kg	Arena Kg	Piedrin Kg	Agua Litros
394,7	806,5	873,8	225

Tiempo (minutos)	Esfuerzo de penetración (psi)
210	52
240	75
270	130
300	224
330	436
360	680
390	1080
420	2978
435	5597

Tamaño nominal máximo: 3/8"

Relacion A/C: 0,57

Aditivos utilizados: Ninguno

Contenido de aire: 1,40%

Asentamiento: 7,5 cm

Temperatura despues de tamizado: 19 °C

Temperatura ambiente inicial: 21,5 °C

Temperatura ambiental final: 22,5 °C

Tiempo de fraguado inicial: 338 minutos

Tiempo de fraguado final: 426 minutos

Tiempo de fraguado

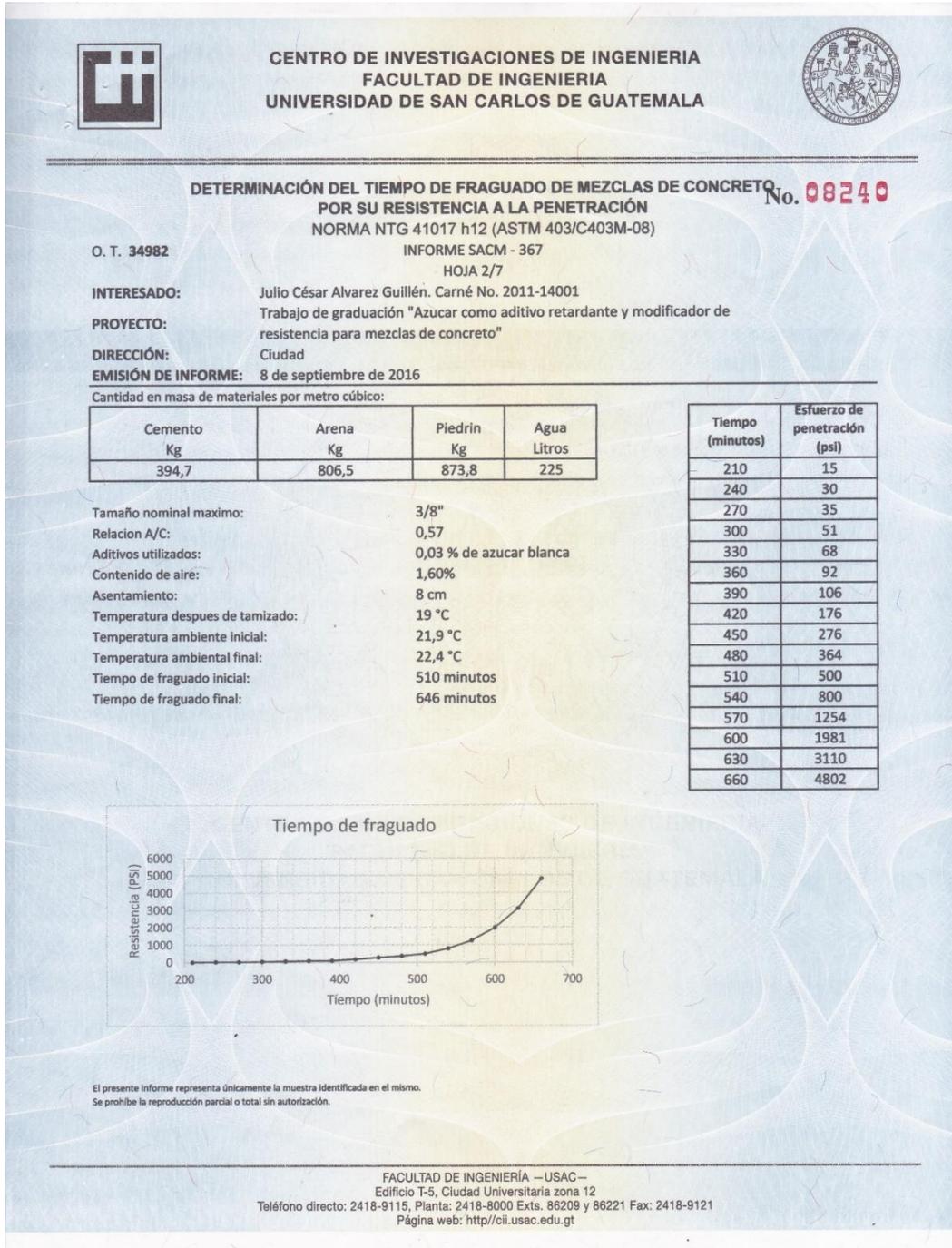


El presente Informe representa únicamente la muestra identificada en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

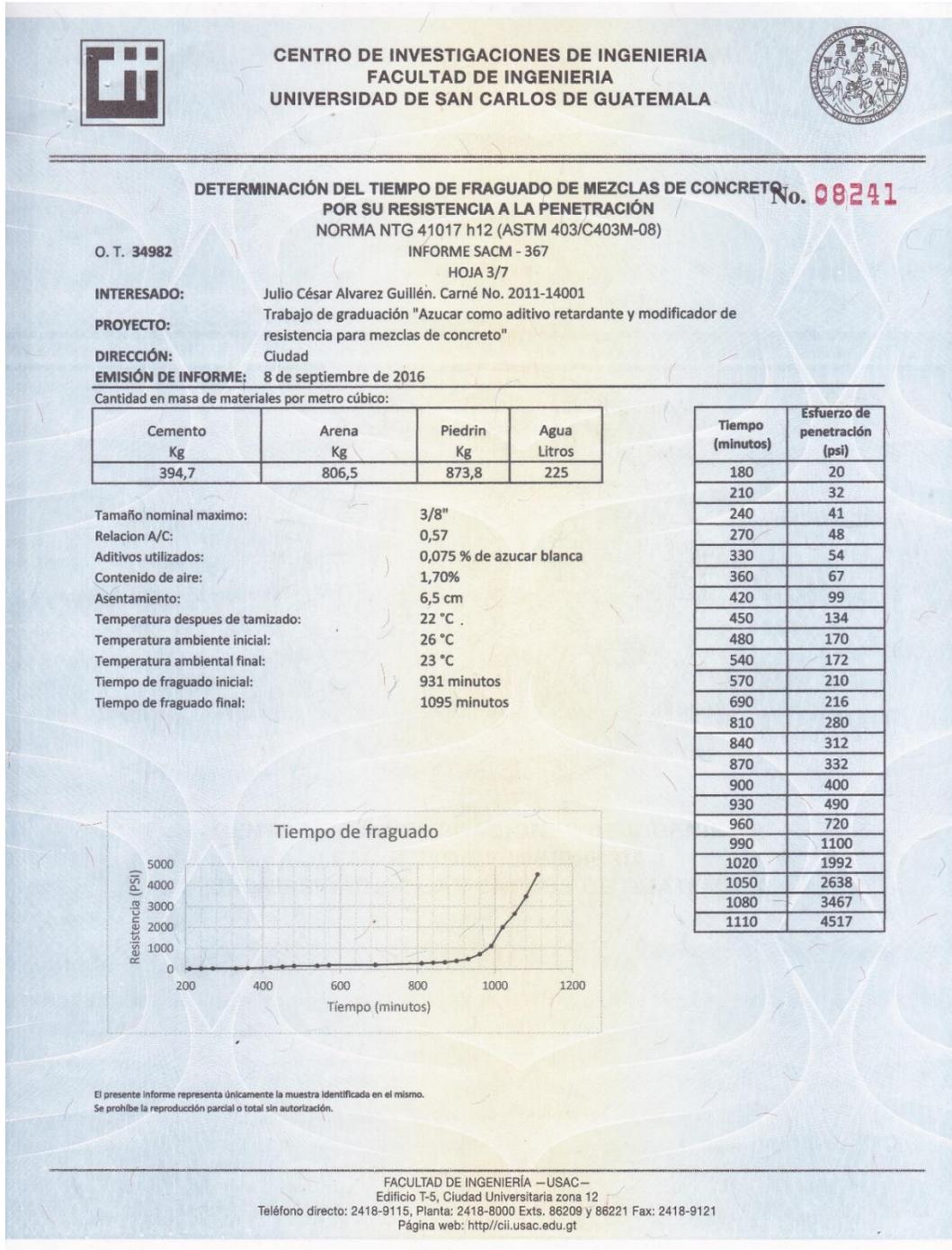
Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 11. Informe del ensayo tiempo de fraguado en mezclas de concreto con 0,03 % de azúcar blanca



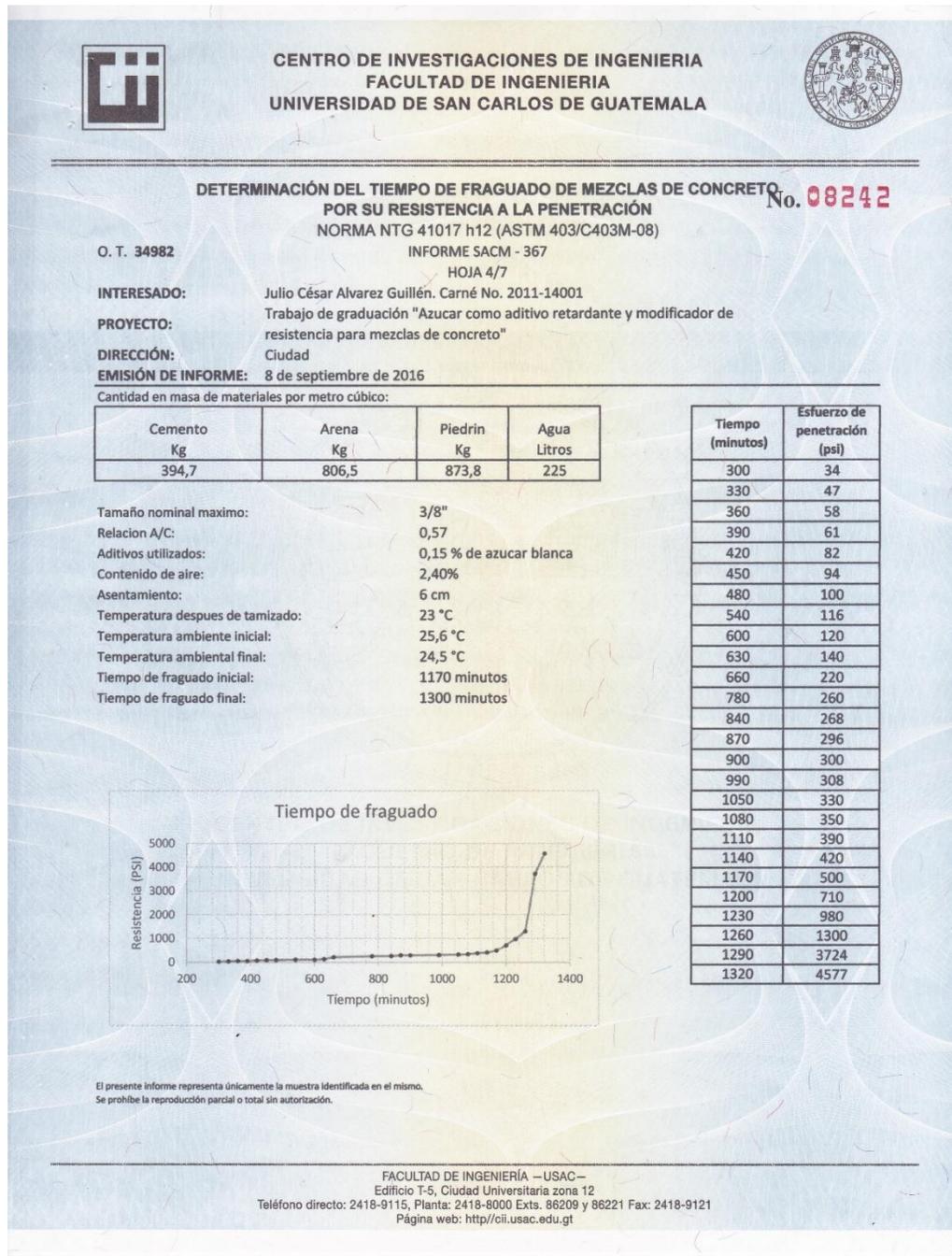
Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 12. Informe del ensayo tiempo de fraguado en mezclas de concreto con 0,075 % de azúcar blanca



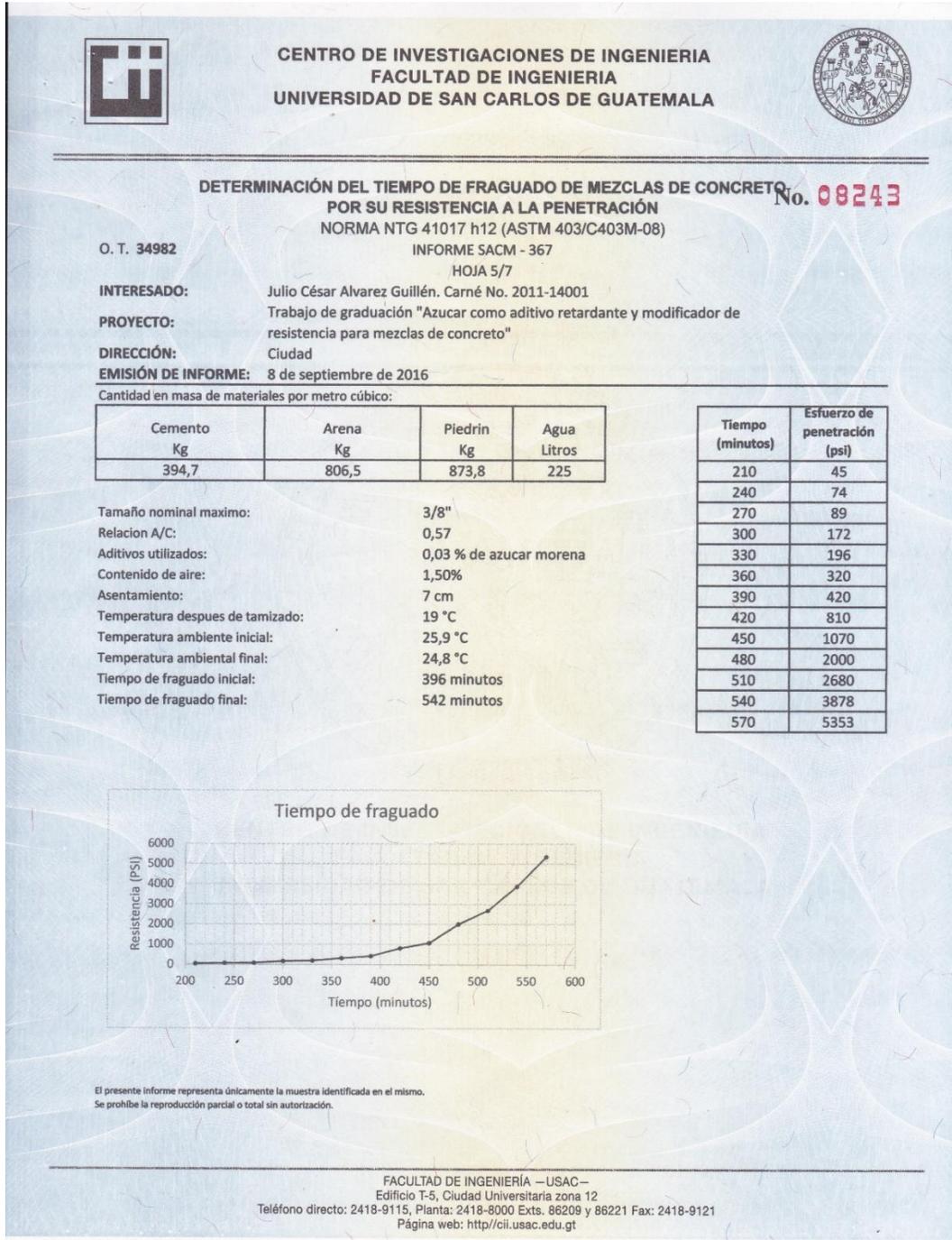
Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 13. Informe del ensayo tiempo de fraguado en mezclas de concreto con 0,15 % de azúcar blanca



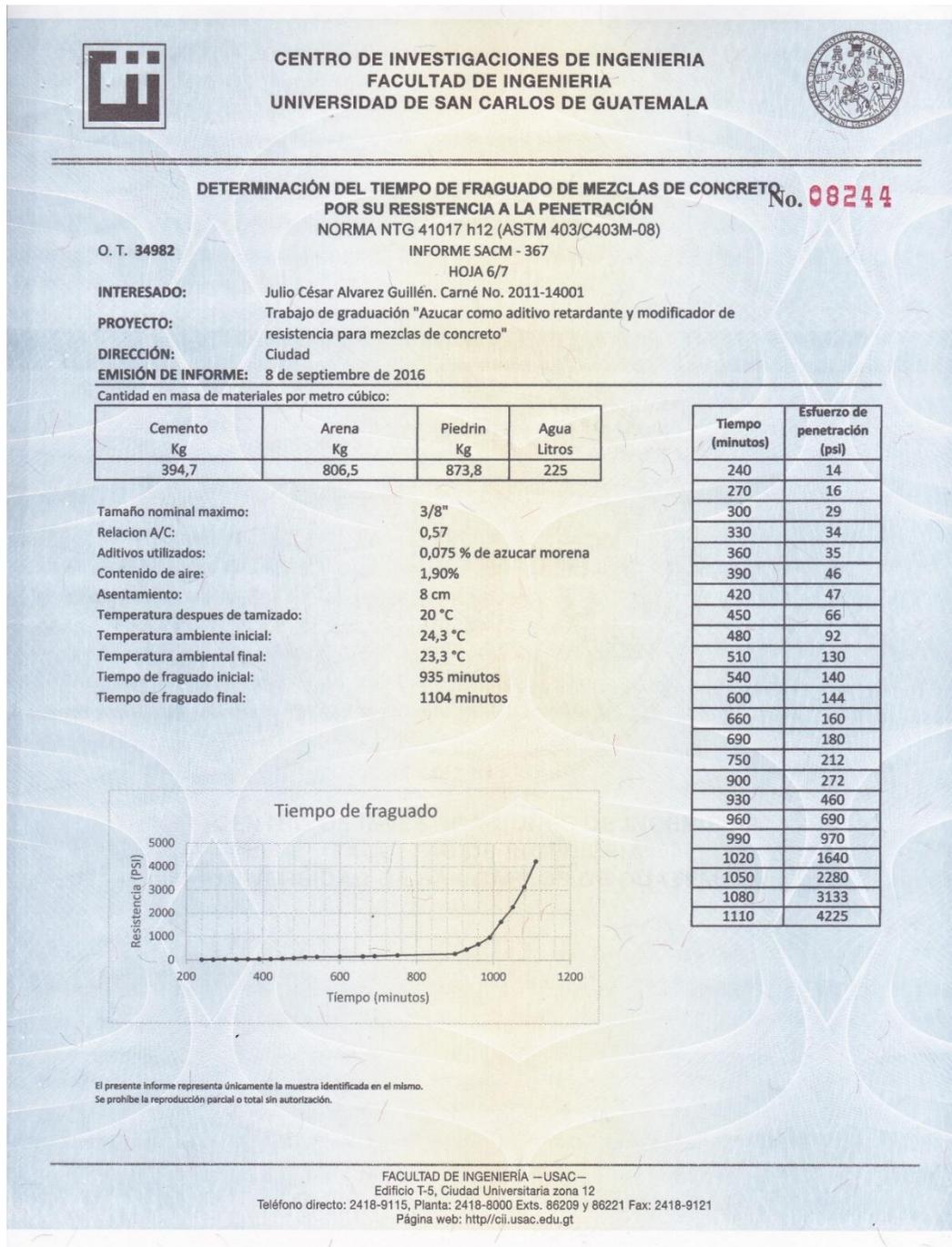
Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 14. Informe del ensayo tiempo de fraguado en mezclas de concreto con 0,03 % de azúcar morena



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 15. Informe del ensayo tiempo de fraguado en mezclas de concreto con 0,075 % de azúcar morena



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 16. Informe del ensayo tiempo de fraguado en mezclas de concreto con 0,15 % de azúcar morena



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE MEZCLAS DE CONCRETO
POR SU RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN** No. **08245**
NORMA NTG 41017 h12 (ASTM 403/C403M-08)
INFORME SACM - 367
HOJA 7/7

O. T. 34982

INTERESADO: Julio César Álvarez Guillén. Carné No. 2011-14001

PROYECTO: Trabajo de graduación "Azucar como aditivo retardante y modificador de resistencia para mezclas de concreto"

DIRECCIÓN: Ciudad

EMISIÓN DE INFORME: 8 de septiembre de 2016

Cantidad en masa de materiales por metro cúbico:

Cemento Kg	Arena Kg	Piedrin Kg	Agua Litros
394,7	806,5	873,8	225

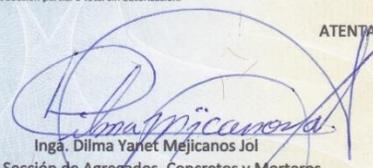
<p>Tamaño nominal maximo: 3/8"</p> <p>Relacion A/C: 0,57</p> <p>Aditivos utilizados: 0,15 % de azucar morena</p> <p>Contenido de aire: 2,30%</p> <p>Asentamiento: 10 cm</p> <p>Temperatura despues de tamizado: 23 °C</p> <p>Temperatura ambiente inicial: 25,7 °C</p> <p>Temperatura ambiental final: 24,5 °C</p> <p>Tiempo de fraguado inicial: 978 minutos</p> <p>Tiempo de fraguado final: 1247 minutos</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Tiempo (minutos)</th> <th>Esfuerzo de penetración (psi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>300</td><td>40</td></tr> <tr><td>330</td><td>45</td></tr> <tr><td>360</td><td>58</td></tr> <tr><td>390</td><td>72</td></tr> <tr><td>420</td><td>98</td></tr> <tr><td>450</td><td>120</td></tr> <tr><td>480</td><td>140</td></tr> <tr><td>570</td><td>160</td></tr> <tr><td>630</td><td>172</td></tr> <tr><td>660</td><td>244</td></tr> <tr><td>810</td><td>252</td></tr> <tr><td>840</td><td>260</td></tr> <tr><td>870</td><td>344</td></tr> <tr><td>900</td><td>368</td></tr> <tr><td>930</td><td>420</td></tr> <tr><td>960</td><td>440</td></tr> <tr><td>990</td><td>540</td></tr> <tr><td>1020</td><td>690</td></tr> <tr><td>1050</td><td>880</td></tr> <tr><td>1080</td><td>1020</td></tr> <tr><td>1110</td><td>1560</td></tr> <tr><td>1140</td><td>1920</td></tr> <tr><td>1170</td><td>2339</td></tr> <tr><td>1200</td><td>2898</td></tr> <tr><td>1230</td><td>3558</td></tr> <tr><td>1260</td><td>4331</td></tr> </tbody> </table>	Tiempo (minutos)	Esfuerzo de penetración (psi)	300	40	330	45	360	58	390	72	420	98	450	120	480	140	570	160	630	172	660	244	810	252	840	260	870	344	900	368	930	420	960	440	990	540	1020	690	1050	880	1080	1020	1110	1560	1140	1920	1170	2339	1200	2898	1230	3558	1260	4331
Tiempo (minutos)	Esfuerzo de penetración (psi)																																																						
300	40																																																						
330	45																																																						
360	58																																																						
390	72																																																						
420	98																																																						
450	120																																																						
480	140																																																						
570	160																																																						
630	172																																																						
660	244																																																						
810	252																																																						
840	260																																																						
870	344																																																						
900	368																																																						
930	420																																																						
960	440																																																						
990	540																																																						
1020	690																																																						
1050	880																																																						
1080	1020																																																						
1110	1560																																																						
1140	1920																																																						
1170	2339																																																						
1200	2898																																																						
1230	3558																																																						
1260	4331																																																						

Tiempo de fraguado



El presente informe representa únicamente la muestra identificada en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENTAMENTE,



Inga. Dilma Yaret Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.



Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
Director CII/USAC

SECCION DE AGREGADOS,
CONCRETOS Y MORTEROS
CII / USAC

FACULTAD DE INGENIERIA – USAC –
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.