



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

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MEZCLA DE
CONCRETO ELABORADA CON AGREGADO FINO DE ORIGEN VOLCÁNICO OBTENIDO
DE LA ALDEA “EL RODEO” ESCUINTLA**

Lucia Alejandra Castillo Morataya

Asesorado por el Ma. Ing. César Augusto Castillo Morales

Guatemala, noviembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MEZCLA DE
CONCRETO ELABORADA CON AGREGADO FINO DE ORIGEN VOLCÁNICO OBTENIDO
DE LA ALDEA “EL RODEO” ESCUINTLA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUCIA ALEJANDRA CASTILLO MORATAYA

ASESORADO POR EL MA. ING. CÉSAR AUGUSTO CASTILLO MORALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz Gonzáles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
EXAMINADOR	Ing. José Mauricio Arriola Donis
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Portillo España
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MEZCLA DE
CONCRETO ELABORADA CON AGREGADO FINO DE ORIGEN VOLCÁNICO OBTENIDO
DE LA ALDEA “EL RODEO” ESCUINTLA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
con fecha mayo de 2020

Lucia Alejandra Castillo Morataya

Guatemala, 11 de octubre de 2021

Ref. 70-2021

Ingeniero
Hugo Montenegro
Coordinador departamento de materiales y obra civil
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería USAC

Estimado ingeniero:

Por medio de la presente le comunico que como asesor de la Tesis de la estudiante **Lucia Alejandra Castillo Morataya**, identificada con CUI 2989 02931 0101 y registro académico 2015-46783, he revisado el trabajo de graduación del tema "**Estudio comparativo de la resistencia a compresión en mezcla de concreto elaborada con agregado fino de origen volcánico obtenido de la aldea "El Rodeo" Escuintla**", de la carrera de Ingeniería Civil, el cual encuentro satisfactorio.

En virtud de lo expuesto con anterioridad, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite que corresponda.

Sin otro particular, me suscrito atentamente,


Ma. Ing. César Augusto Castillo Morales
Asesor

*Ing. César A. Castillo M.
Col. 3,780*



Guatemala, 22 de octubre de 2021

Ingeniero
Armando Fuentes Roca
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Fuentes,

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MEZCLA DE CONCRETO ELABORADA CON AGREGADO FINO DE ORIGEN VOLCÁNICO OBTENIDO DE LA ALDEA “EL RODEO” ESCUINTLA”**, desarrollado por la estudiante de ingeniería Civil **Lucia Alejandra Castillo Morataya**, quién contó con la asesoría del Ing. César Augusto Castillo Morales.

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 ENSEÑAD A TODOS

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
Coordinador del área de Materiales de Construcción y obras civiles





El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. César Augusto Castillo Morales y del Coordinador del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco al trabajo de graduación de la estudiante Lucia Alejandra Castillo Morataya **ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MEZCLA DE CONCRETO ELABORADA CON AGREGADO FINO DE ORIGEN VOLCÁNICO OBTENIDO DE LA ALDEA "EL RODEO" ESCUINTLA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Sin otro particular, le saludo muy atentamente.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Armando Fuentes Roca
Director Escuela Ingeniería Civil

Guatemala, noviembre 2021

/mrrm.





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101 - 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

DTG.611.2021

La Decana 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: **ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MEZCLA DE CONCRETO ELABORADA CON AGREGADO FINO DE ORIGEN VOLCÁNICO OBTENIDO DE LA ALDEA "EL RODEO" ESCUINTLA**, presentado por la estudiante universitaria: **Lucia Alejandra Castillo Morataya**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, noviembre de 2021

AACE/cc

ACTO QUE DEDICO A:

My dad

I dedicate this act especially to you, for your unconditional support, for being my example to follow and for motivating me every day, I love you daddy.

Mi mami

Te dedico este especialmente a ti por todo tu apoyo, consejos y por estar siempre a mi lado, te amo mami.

Mis hermanos

Juan, Marce y Mari Castillo, por ser importantes en mi vida y por ser parte de todo este proceso desde el inicio hasta el fin.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme la formación académica que me acompañará el resto de la vida.
Facultad de Ingeniería	Por todas las enseñanzas académicas, morales y personales aprendidas en las aulas de mi querida facultad.
Mis amigos de la Facultad	A todos los compañeros con los que compartí momentos de alegría y tristeza, ustedes han sido fundamentales en toda mi carrera.
Abuelita Oralía	Por siempre estar pendiente de mí, por tus llamadas, consejos y amor incondicional.
Molotio	Por tu ayuda y consejos, por darme ánimo cuando lo necesité y por tu ayuda con esta investigación.
Familia	Por su apoyo y comprensión cada vez que estaba estudiando.
Ing. Cesar Castillo	Por toda su ayuda en la elaboración de este trabajo.

Noé Ren

Por su ayuda para corregir la plantilla de este documento.

**Centro de
Investigaciones de la
Facultad de ingeniería**

Por los ensayos realizados para poder llevar a cabo este trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. CONCRETO.....	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Materiales constituyentes	3
1.2.1. Cemento	3
1.2.1.1. Tipos de cemento	4
1.2.2. Agregado fino	5
1.2.2.1. Composición	6
1.2.2.2. Calidad	6
1.2.3. Agregado grueso	8
1.2.3.1. Composición	8
1.2.3.2. Calidad	8
1.2.4. Agua	10
1.2.4.1. Requisitos de calidad.....	11
1.3. Propiedades generales del concreto	12
1.3.1. Durabilidad.....	12
1.3.2. Impermeabilidad	12
1.3.3. Trabajabilidad	13
1.3.4. Peso unitario.....	13

1.3.5.	Resistencia del concreto a fuerzas externas	14
2.	MATERIALES DE ORIGEN VOLCÁNICO	17
2.1.	Generalidades	17
2.2.	Productos de la actividad volcánica	18
2.3.	Tipos de materiales de origen volcánico	20
2.3.1.	Coladas de lava.....	20
2.3.2.	Gases.....	20
2.3.3.	Materiales piroclásticos	20
2.4.	Volcán activo del cual será extraído el agregado fino proveniente de la aldea “El Rodeo” Escuintla	21
2.4.1.	Volcán de fuego	21
2.4.1.1.	Otros volcanes activos en Guatemala	23
2.4.1.1.1.	Volcán Santiaguito	23
2.4.1.1.2.	Volcán de Pacaya	23
3.	PROPIEDADES, ENSAYOS Y NORMAS APLICABLES	25
3.1.	Ensayos de laboratorio para agregado fino.....	25
3.1.1.	Ensayo: Contenido de materia orgánica, norma: COGUANOR NTG 41010 h4 (ASTM C-40).....	25
3.1.2.	Ensayo: Análisis granulométrico, norma: COGUANOR NTG 41010 h1 (ASMT C-136).....	26
3.1.3.	Ensayo: Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agua, norma: COGUANOR NTG 41010 h9 (ASTM C-128).....	26
3.1.4.	Ensayo: Densidad aparente (masa unitaria) e índice de vacíos, norma: COGUANOR NTG 41010 h2 (ASTM C-29)	27

3.1.5.	Ensayo: Determinación por lavado del material que pasa por el tamiz No. 200, norma: COGUANOR NTG 41010 h3 (ASTM C-117)	27
3.2.	Ensayos de laboratorio para agregado grueso.....	28
3.2.1.	Ensayo: Análisis granulométrico, norma: COGUANOR NTG 41010 h1 (ASTM C-136)	28
3.2.2.	Ensayo: Densidad, densidad aparente (gravedad específica) y absorción de agua, norma: COGUANOR NTG 41010 h8 (ASTM C-127)	28
3.2.3.	Ensayo: Densidad aparente (masa unitaria) e índice de vacíos, norma: COGUANOR NTG 41010 h2 (ASTM C-29).....	29
3.2.4.	Ensayo: Determinación por lavado del material que pasa por el tamiz No. 200, norma: COGUANOR NTG 41010 h3 (ASTM C-117)	29
3.2.5.	Ensayo: Determinación de la resistencia al desgaste por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles, norma: COGUANOR NTG 41010 h20 (ASTM C-131).....	30
3.2.6.	Ensayo: Determinación de la estabilidad a la disgregación de los agregados mediante el uso del sulfato de sodio o del sulfato de magnesio, norma: COGUANOR NTG 41010 h6 (ASTM C-88)	30
3.3.	Ensayos de laboratorio para concreto fresco	31
3.3.1.	Ensayo: Asentamiento, norma: COGUANOR NTG 41017 h4 (ASTM C-143)	31
3.3.2.	Ensayo: Determinación de la densidad aparente (masa unitaria), rendimiento (volumen de	

	concreto) y contenido de aire (gravimétrico) del concreto, norma: COGUANOR NTG 41017 h5 (ASTM C-138)	32
3.3.3.	Ensayo: Determinación del contenido de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método de presión, norma: COGUANOR NTG 41017 h7 (ASTM C-231)	32
3.3.4.	Ensayo: Medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado, norma: COGUANOR NTG 41053 (ASTM C-1064).....	33
3.4.	Ensayos de laboratorio para concreto endurecido	33
3.4.1.	Ensayo: Resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, norma: COGUANOR NTG 41017 h1 (ASTM C-39).....	33
4.	TRANSFORMACIÓN DE MATERIA PRIMA.....	35
4.1.	Descripción de los materiales para la fabricación de la mezcla patrón y la mezcla experimental con agregado fino de origen volcánico	35
4.1.1.	Mezcla patrón.....	35
4.1.2.	Mezcla con agregado fino de origen volcánico.....	36
5.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	39
5.1.	Diseño de mezcla.....	39
5.2.	Probetas para ensayo a compresión.....	39
5.3.	Preparación de las mezclas de concreto.....	40
5.3.1.	Pesado de materiales.....	40
5.3.2.	Mezclado de materiales.....	42
5.3.3.	Moldeado de cilindros	43

5.3.4.	Curado.....	46
5.3.5.	Desencofrado	46
5.4.	Procedimiento de ensayos	46
5.4.1.	Ensayo de asentamiento	47
5.4.2.	Ensayo determinación de densidad aparente, rendimiento y contenido de aire.....	48
5.4.3.	Ensayo para determinar temperatura del concreto fresco.....	50
5.4.4.	Ensayo resistencia a compresión	51
5.5.	Datos obtenidos.....	53
5.5.1.	Datos del diseño de mezcla.....	53
5.5.2.	Cantidad de material.....	53
5.5.3.	Datos obtenidos de los ensayos y cálculos	54
5.5.3.1.	Datos obtenidos de los ensayos para agregado fino.....	55
5.5.3.2.	Datos obtenidos de los ensayos para agregado grueso.....	58
5.5.3.3.	Datos obtenidos de los ensayos para concreto fresco	60
5.5.3.4.	Datos obtenidos de los ensayos para concreto endurecido	61
6.	CÁLCULOS Y RESULTADOS	65
6.1.	Cálculos realizados	65
6.1.1.	Cálculo del coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura.....	65
6.1.2.	Cálculo de la resistencia a compresión	66
6.2.	Cálculo de la relación entre datos teóricos vs datos reales.....	67
6.3.	Gráficas	69

6.3.1.	Cuantía de error en cada mezcla para observar traslape en las barras de error.	70
7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	75
7.1.	Agregado fino.....	75
7.1.1.	Ensayo contenido de materia orgánica	75
7.1.2.	Ensayo análisis granulométrico.....	76
7.1.3.	Ensayo densidad, densidad relativa y absorción de agua	77
7.1.4.	Ensayo densidad aparente e índice de vacíos.....	78
7.1.5.	Ensayo determinación por lavado del material que pasa por el tamiz No.200.....	78
7.1.6.	Ensayo determinación de la estabilidad a la disgregación de los agregados mediante el uso del sulfato de sodio o del sulfato de magnesio.....	79
7.2.	Agregado grueso.....	80
7.2.1.	Ensayo análisis granulométrico.....	80
7.2.2.	Ensayo densidad, densidad relativa y absorción de agua.	81
7.2.3.	Ensayo densidad aparente e índice de vacíos.....	81
7.2.4.	Ensayo determinación por lavado del material que pasa por el tamiz No.200.....	82
7.2.5.	Ensayo determinación de la resistencia al desgaste por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles.	83
7.3.	Concreto fresco.....	83
7.3.1.	Ensayo de asentamiento	84
7.3.2.	Ensayo determinación de la densidad aparente, rendimiento y contenido de aire del concreto.....	84

7.3.3.	Ensayo medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado	85
7.4.	Concreto endurecido	86
7.4.1.	Ensayo resistencia a la compresión	86
CONCLUSIONES		89
RECOMENDACIONES		91
BIBLIOGRAFÍA		93
ANEXOS		97

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Fabricación del cemento	4
2.	Producto de la actividad volcánica	19
3.	Volcán de fuego	22
4.	Vista aérea de la planta de producción y arenal MACIZO.....	37
5.	Vista aérea de la ubicación de la arena volcánica a utilizar	37
6.	Vista aérea de maquinaria extrayendo la arena volcánica a utilizar.....	38
7.	Moldes a utilizar para elaboración de especímenes a ensayar.....	40
8.	Materiales para mezcla patrón	41
9.	Materiales para mezcla experimental.....	41
10.	Mezcla de materiales	42
11.	Elaboración de cilindros	43
12.	Apisonamiento de la mezcla de concreto.....	44
13.	Razado	45
14.	Cilindros en estado fresco.....	45
15.	Medición del asentamiento.....	48
16.	Ensayo determinación de densidad aparente	50
17.	Temperatura del concreto fresco	51
18.	Esquema de los modelos de fractura típicos.....	52
19.	Gráfica $f'c$ vs edad del concreto.....	69
20.	Gráfica $f'c$ edad de 3 días e incerteza.....	70
21.	Gráfica $f'c$ edad de 7 días e incerteza.....	71
22.	Gráfica $f'c$ edad de 28 días e incerteza.....	72
23.	Gráfica porcentaje de error	73

TABLAS

I.	Límites para sustancias perjudiciales en agregado fino para concreto	7
II.	Límites para sustancias perjudiciales en agregado grueso para concreto	9
III.	Proporción volumétrica	53
IV.	Cantidad de material para la mezcla patrón	54
V.	Cantidad de material para la mezcla experimental	54
VI.	Contenido de materia orgánica	55
VII.	Análisis granulométrico	55
VIII.	Índice de uniformidad de coeficiente de curvatura	56
IX.	Densidad, densidad relativa y absorción de agua	56
X.	Densidad aparente e índice de vacíos	56
XI.	Determinación por lavado del material que pasa por el tamiz No.200	57
XII.	Determinación de la estabilidad a la disgregación a los sulfatos	57
XIII.	Aceptabilidad de la disgregación a los sulfatos	58
XIV.	Análisis granulométrico para agregado grueso	58
XV.	Densidad, densidad relativa y absorción de agua para agregado grueso	58
XVI.	Densidad aparente e índice de vacíos para agregado grueso	59
XVII.	Lavado del material que pasa por el tamiz No. 200 para agregado grueso	59
XVIII.	Resistencia al desgaste por abrasión	59
XIX.	Asentamiento	60
XX.	Densidad aparente y contenido de aire	60
XXI.	Temperatura de mezcla de concreto	61
XXII.	f'c mezcla patrón a los 3 días	61

XXIII.	f'c mezcla patrón a los 7 días	62
XXIV.	f'c mezcla patrón a los 28 días	62
XXV.	f'c mezcla experimental a los 3 días	62
XXVI.	f'c mezcla experimental a los 7 días	63
XXVII.	f'c mezcla experimental a los 28 días	63
XXVIII.	Relación de datos teóricos vs datos reales para la mezcla patrón.....	67
XXIX.	Relación de datos teóricos vs datos reales para la mezcla experimental.....	68
XXX.	Datos para graficar.....	68

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
D	Diámetro
π	Número pi
$f'c$	Resistencia a compresión del concreto endurecido

GLOSARIO

AGIES	Asociación Guatemalteca de Ingenieros Estructurales.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
Cc	Coeficiente de curvatura.
Clinker	Producto horneado para fabricar cemento Portland.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
Cu	Coeficiente de uniformidad.
Disgregación	Acción de separar las partículas aglomeradas que constituyen una muestra.
Granulometría	Distribución en porcentaje de los tamaños de agregado fino y grueso en una muestra.
INSIVUMEH	Instituto nacional de sismología, vulcanología, meteorología e hidrología.
Intemperismo	Proceso que provoca una modificación del estado de una roca a partir de una acción química física o biológica.

NTG	Normas Técnicas Guatemaltecas.
PCA	Portland Cement Association.
Sss	Condición saturado superficialmente seco de un agregado.
Tefra	Fragmentos de lava porosa.

RESUMEN

Uno de los principales materiales utilizados en la construcción en Guatemala, es el concreto, es por esto que es importante garantizar la calidad de los materiales que lo componen debido a que así se garantiza también que el concreto posea todas las características y propiedades que ofrecen calidad, resistencia, y durabilidad en las edificaciones.

Debido a la falta de información sobre la arena volcánica, se tomó la decisión de realizar el estudio de este material al utilizarlo como agregado fino, para poder evaluar si aporta beneficios o perjudica al concreto fresco y endurecido.

La arena volcánica a evaluar es obtenida de la aldea “El Rodeo” Escuintla, y es producto de la actividad del volcán de Fuego, esta arena se ha comercializado para su uso en la construcción en las zonas aledañas al lugar y a su vez, se ha distribuido a otros sectores del país, es por esto que surge la necesidad de realizar esta investigación para poder determinar si este material utilizado como agregado, cumple con lo establecido en las normas correspondientes para su uso en Guatemala.

OBJETIVOS

General

Determinar las propiedades físicas, mecánicas y de resistencia a la compresión, de una mezcla de concreto elaborada con agregado fino de origen volcánico obtenido del banco de materiales de la aldea “El Rodeo” Escuintla.

Específicos

1. Determinar la densidad, absorción, contenido de materia orgánica y análisis granulométrico del agregado fino de origen volcánico obtenido de la aldea “El Rodeo” respecto a las normas ASTM para agregado fino.
2. Calcular la resistencia a la compresión de la mezcla utilizando agregado fino de origen volcánico del banco y de la mezcla patrón.
3. Evaluar la mezcla con agregado fino de origen volcánico y la muestra patrón respecto a las normas ASTM C 143 y ASTM C 39.
4. Analizar las propiedades físicas y mecánicas del concreto respecto a las normas ASTM y establecer si la mezcla con material de origen volcánico de la aldea “El Rodeo” Escuintla, cumple para ser utilizada en Guatemala.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala el principal material utilizado en la construcción es el concreto, por lo que alrededor del país, existen distintos bancos de materiales los cuales abastecen a las zonas que los rodean tanto de agregado fino como de agregado grueso.

Debido a la variedad de climas en las diferentes regiones del país, los materiales que son utilizados varían de acuerdo con su origen y por lo tanto varían en su composición. Se sabe que la mezcla de concreto se compone de cemento portland utilizado como aglomerante, agregados fino y grueso y agua.

Es de suponer que la variación en el origen de los agregados que componen el concreto (agregado fino y agregado grueso), deben de alterar en cierta manera las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla de concreto.

A lo largo de la historia, la cadena volcánica ha dejado en regiones del territorio nacional arena que compone los suelos y las montañas. Actualmente se encuentra un banco de material en donde se trituran rocas y depósitos de coladas piroclásticas para su venta como materiales de construcción, siendo estos agregados finos y gruesos.

Debido al origen del material, se desconoce si realmente este le brinda a la mezcla de concreto las características que debe poseer al ser mezclado y al ser sometido a cargas de compresión según las normas ASTM y las normas NTG.

Es por esta razón que se decide realizar el estudio de una mezcla patrón comparado con una mezcla en donde se utiliza agregado fino del material triturado en la aldea “El Rodeo” Escuintla, para así poder determinar si existe variación en la resistencia a la compresión de los especímenes realizados con estas mezclas.

1. CONCRETO

El concreto es un material pétreo, durable y resistente; pero, dado que se trabaja en su forma líquida, puede adquirir prácticamente cualquier forma. Esta combinación de características es la razón principal por la que es un material de construcción tan popular, empleado para todo tipo de construcciones.

1.1. Generalidades

Ya sea que adquiera la forma de un camino de entrada amplio hacia una casa moderna, un paso vehicular semicircular frente a una residencia, o una modesta entrada delantera, el concreto proporciona solidez y permanencia a los lugares que sirven para vivienda o para tránsito de personas o vehículos. Además de servir a las necesidades diarias en escalones exteriores, entradas y caminos, el concreto también es parte del tiempo libre, al proporcionar la superficie adecuada para un patio o superficie para áreas de recreación.

El concreto de uso común, se produce mediante la mezcla de cuatro componentes esenciales: cemento, agua, agregados y aire, a los cuales, eventualmente, se incorpora un cuarto componente que, genéricamente, se designa como aditivo.

Al mezclar estos componentes y producir lo que se conoce como una “revoltura de concreto”, se introduce de manera simultánea un quinto participante: el aire. La mezcla íntima de los componentes del concreto convencional produce una masa plástica que puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad; pero gradualmente pierde esta característica hasta que al

cabo de algunas horas se torna rígida y comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente denominado concreto endurecido.

La representación común del concreto convencional en estado fresco, lo identifica como un conjunto de fragmentos de roca, globalmente definidos como agregados, dispersos en una matriz viscosa constituida por una pasta de cemento de consistencia plástica. Esto significa que en una mezcla así hay muy poco o ningún contacto entre las partículas de los agregados, característica que tiende a permanecer en el concreto ya endurecido. Consecuentemente con ello, el comportamiento mecánico de este material y su durabilidad en servicio dependen de tres aspectos básicos:

- Las características, composición y propiedades de la pasta de cemento, o matriz cementante, endurecida.
- La calidad propia de los agregados, en el sentido más amplio.
- La afinidad de la matriz cementante con los agregados y su capacidad para trabajar en conjunto.

En el primer aspecto debe contemplarse la selección de un cementante apropiado, el empleo de una relación agua/cemento conveniente y el uso eventual de un aditivo necesario, con todo lo cual debe resultar potencialmente asegurada la calidad de la matriz cementante. De la esmerada atención a estos tres aspectos básicos, depende sustancialmente la capacidad potencial del concreto, como material de construcción, para responder adecuadamente a las acciones resultantes de las condiciones en que debe prestar servicio.

Pero esto, que sólo representa la previsión de emplear el material potencialmente adecuado, no basta para obtener estructuras resistentes y durables, pues requiere conjugarse con el cumplimiento de previsiones igualmente eficaces en cuanto al diseño, especificación, construcción y mantenimiento de las propias estructuras.

1.2. Materiales constituyentes

A continuación, se describen los materiales que constituyen una mezcla de concreto.

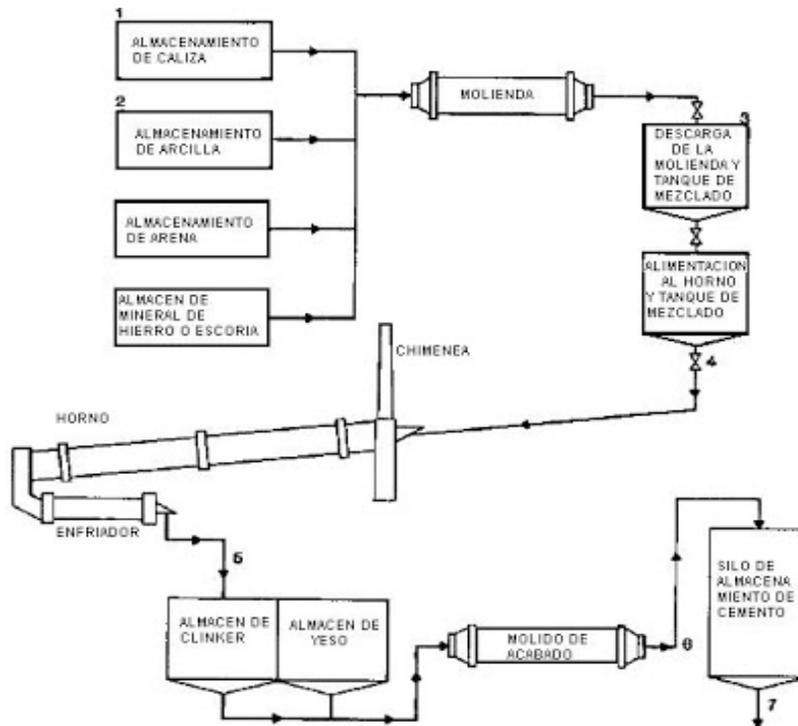
1.2.1. Cemento

En general, se denomina cemento a un conglomerante hidráulico que, mezclado con agregados pétreos (árido grueso o grava, más árido fino o arena), y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece al reaccionar con el agua, adquiriendo consistencia pétreo, denominado concreto. Su uso está muy generalizado en construcción e ingeniería civil y siendo su principal función la de aglutinante.

El cemento Portland es un aglomerante plástico hidráulico, resultado de mezclar piedra caliza y esquisto, esta es triturada y luego molida en un molino de bolas. Esta mezcla se cuece en hornos, a una temperatura de 1400 °C a 1600 °C, obteniéndose un material gris oscuro llamado *clinker*, Se admite la adición de otros productos siempre que su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante. Todos los productos adicionales deben ser pulverizados juntamente con el *clinker*. Cuando el cemento portland es mezclado con el agua, se obtiene un producto de características plásticas con propiedades adherentes que

solidifica en algunas horas y endurece progresivamente durante un período de varias semanas hasta adquirir su resistencia característica.

Figura 1. **Fabricación del cemento**



Fuente: YEPES PIQUERAS, Víctor. *Fabricación del cemento*.

<https://victoryepes.blogs.upv.es/2015/05/23/fabricacion-del-cemento/>. Consulta: 3 noviembre de 2020.

1.2.1.1. Tipos de cemento

- Tipo I: de uso general, para concreto de uso normal en todo tipo de construcciones, en condiciones normales.

- Tipo II: posee una moderada resistencia a los sulfatos, para uso en exposición a suelos y aguas subterráneas que tienen un bajo contenido de sulfatos.
- Tipo III: posee una alta resistencia inicial, utilizado en condiciones en que se requiere resistencia a edades tempranas y en lugares fríos.
- Tipo IV: bajo calor de Hidratación, se usa cuando el calor durante el proceso de hidratación debe ser mínimo, como en construcción de presas donde se colocan grandes volúmenes de concreto.
- Tipo V: alta resistencia a sulfatos se usa en un concreto que estará en contacto con altas concentraciones de sulfatos, como tuberías de aguas residuales, obras expuestas al agua del mar, al ambiente marino o a suelos y aguas con alto contenido de sulfatos.

1.2.2. Agregado fino

El agregado fino, más comúnmente llamado arena, constituye la mayor parte del porcentaje en peso del concreto. Este porcentaje puede llegar a superar el 60 % del peso del concreto fraguado y endurecido. La adecuación de un árido para la fabricación de concreto debe cumplir un conjunto de requisitos usualmente recopilados en normas como, las de la ASTM o las normas ASCE/SEI, entre otros. Dichos requisitos se refieren normalmente a la composición química, la granulometría, los coeficientes de forma y el tamaño.

1.2.2.1. Composición

El agregado fino consiste en arena natural proveniente de canteras aluviales o de arena producida artificialmente mediante procesos de trituración. La forma de las partículas deberá ser generalmente cúbica o esférica y razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas. La arena natural estará constituida por fragmentos de roca limpios, duros, compactos y durables.

En la producción artificial del agregado fino es muy importante no utilizar rocas que se quiebren en partículas laminares, planas o alargadas, independientemente del equipo de procesamiento empleado.

1.2.2.2. Calidad

En general, el agregado fino o arena deberá cumplir con los requisitos establecidos en la norma ASTM C-33 así como a la norma COGUANOR NTG h41007, es decir, no deberá contener cantidades dañinas de arcilla, limo, álcalis, mica, materiales orgánicos y otras sustancias perjudiciales.

El máximo porcentaje en peso de sustancias dañinas no deberá exceder de los valores siguientes, expresados como un porcentaje del peso:

Tabla I. **Límites para sustancias perjudiciales en agregado fino para concreto**

Ítem	Porcentaje en más de la muestra total, máx	
	Arena Natural	Arena (manufacturada)
Terrones de arcilla y partículas Friables de arcilla	3,0	3,0
Material más fino que el tamiz 75µm (N°200)		
-Concreto sujeto a abrasión	3,0 ^A	5,0 ^B
-Cualquier otro concreto	5,0 ^A	7,0 ^B
Material de baja densidad (densidad relativa menor de 2,0)	c	c

^A Estos límites podrán elevarse a 5 y 7 % respectivamente, siempre que el valor de azul de metileno (AASHTO TP 57) sea igual o inferior a 6 mg de azul por cada g de finos. (75 µm [No. 200]).

^B Estos límites pueden elevarse a 8 y 15 % respectivamente, siempre que el valor de azul de metileno (AASHTO TP 57) sea igual o inferior a 6 mg de azul por cada g de finos. (< 75µm [No. 200]) y la estructura no esté sometida a abrasión severa.

^C En Guatemala, el material de baja densidad en forma de pómez y otros materiales piroclásticos es abundante en los agregados de origen volcánico. Para estos casos, el límite máximo aceptable debe establecerse por acuerdo entre comprador y proveedor, con base en la experiencia local. Cuando el material de baja densidad sea carbón, lignito, mica, horsteno u otro material liviano no piroclástico, el límite máximo permitido ser es 0,5 donde la apariencia del concreto es importante y de 1,0 para cualquier otro concreto.

Fuente: Norma técnica guatemalteca, NTG – 41007. *Agregados para concreto especificaciones.*

p. 10.

1.2.3. Agregado grueso

El agregado grueso o grava es uno de los principales componentes del concreto, debido a esto su buena calidad es de suma importancia para garantizar buenos resultados en la preparación de estructuras de concreto.

1.2.3.1. Composición

El agregado grueso está formado por roca o grava triturada obtenida de fuentes previamente seleccionadas y analizadas en laboratorio, para certificar su calidad. El tamaño mínimo será de 4,8 mm.

El agregado grueso debe ser duro, resistente, limpio y sin recubrimiento de materiales extraños o de polvo, los cuales, en caso de presentarse, deberán ser eliminados mediante un procedimiento adecuado, como por ejemplo el lavado. La forma de las partículas más pequeñas del agregado grueso de roca o grava triturada deberá ser generalmente cúbica y deberá estar razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas en todos los tamaños.

1.2.3.2. Calidad

En general, el agregado grueso deberá estar de acuerdo con la norma ASTM C 33 y con la norma COGUANOR NTG 41007. El uso de esta norma está sujeto al país en el cual se aplique la misma, puesto que las especificaciones de esta varían de acuerdo con la región o país. Los porcentajes de sustancias dañinas en cada fracción del agregado grueso, en el momento de la descarga en la planta de concreto, no deberán superar los siguientes límites:

Tabla II. **Límites para sustancias perjudiciales en agregado grueso para concreto**

NTG-41007

TABLA 3 Límites para sustancias perjudiciales y requisitos de propiedades físicas de agregado grueso para concreto

NOTA 1. vea la fig. 1 para ubicar las regiones de intemperización y la Nota 9 para mayor información en la utilización del mapa. Las regiones de intemperización son definidas como sigue:

(S) Región de intemperización severa. Un clima frío donde el concreto está expuesto a productos químicos descongelantes y otros agentes agresivos durante un período prolongado de tiempo. El clima debe ser frío y húmedo, con heladas y descongelaciones durante un período prolongado de tiempo.

(M) Región de intemperización moderada. Un clima donde se espera congelamiento ocasional, pero donde el concreto en servicio a la intemperie estará continuamente expuesto a congelamiento y deshielo en presencia de humedad o de productos químicos descongelantes.

(N) Región de intemperización despreciable. Un clima donde el concreto está raramente expuesto al congelamiento en presencia de humedad.

Máximo admisible, %

Designación de Clase	Tipo o Ubicación de la construcción de concreto	Terminos de Arcilla y Partículas Friables	Horizonto (menos de 2.40 de espesor) (625)	Suma de terrones de Arcilla, partículas friables y 2.000 terrones de 2.40 densidad (ess)	Ver** Material más fino que el tamiz 75-µm (Nº 200) ^B	Ver** Cuchón y Ligado ^B	Abrasión	Resistencia a disgregación de los agregados al sulfato de magnesio ^B (G cables)	
									Regiones de intemperización severa
1S	Zapatas, fundaciones, columnas y vigas no expuestas a la intemperie, losas de pisos interiores que van a ser revestidas	10.0	....	....	1.0 ^C	1.0	50	....
2S	Pisos interiores sin revestimiento	5.0	....	....	1.0 ^C	0.5	50	....
3S	Muros de fundación por encima del nivel del terreno, muros de retención, esribos, pilares, vigas principales y vigas expuestas a la intemperie	5.0	5.0	7.0	1.0 ^C	0.5	50	18.0	
4S	Pavimentos, tableros de puente, caminos y cordones, senderos, patios, pisos de garage, terrazas y pisos expuestos, o estructuras frente al agua, sujetas a mojarse frecuentemente.	3.0	5.0	5.0	1.0 ^C	0.5	50.0	18.0	
5S	Concreto arquitectónico expuesto ^D	2.0	3.0	3.0	1.0 ^C	0.5	50.0	18.0	
Regiones de intemperización moderada									
1M	Zapatas, fundaciones, columnas y vigas no expuestas a la intemperie, losas de pisos interiores que van a ser revestidas	10.0	....	....	1.0 ^C	1.0	50	....
2M	Pisos interiores sin revestimiento	5.0	....	....	1.0 ^C	0.5	50	....
3M	Muros de fundación por encima del nivel del terreno, muros de retención, esribos, pilares, vigas principales y vigas expuestas a la intemperie	5.0	8.0	10.0	1.0 ^C	0.5	50	18.0	
4M	Pavimentos, tableros de puente, caminos y cordones, senderos, patios, pisos de garage, terrazas y pisos expuestos, o estructuras frente al agua, sujetas a mojarse frecuentemente.	5.0	5.0	7.0	1.0 ^C	0.5	50	18.0	
5M	Concreto arquitectónico expuesto ^D	3.0	3.0	5.0	1.0 ^C	0.5	50	18.0	
Regiones de intemperización Despreciable									
1N	Losas sujetas a abrasión en tráfico, tableros de puentes, pisos, senderos, pavimentos	5.0	....	....	1.0 ^C	0.5	50	....
2N	Todas las otras clases de concreto	10.0	....	....	1.0 ^C	1.0	50	....

^A La esferas de alto horno cortadas al aire y trituradas está sujeta de los requisitos de abrasión. La densidad aparente (masa unitaria) verificada o calculada de la esferas no debe ser menor de 1.120 (70 lb/ft³). La esferas de alto horno cortadas al aire y trituradas debe ser utilizada en el concreto. La densidad aparente (masa unitaria) verificada o calculada de la esferas de alto horno cortadas al aire y trituradas debe ser determinada para el tamaño o tamaños de ensayo más cercano correspondiente a la granulometría o granulometrías que se utilizarán en el concreto. Cuando se vaya a utilizar más de una granulometría el límite de la pérdida por abrasión debe aplicarse a cada una.

^B Los límites admisibles para resistencia a disgregación de los agregados al sulfato, debe ser de 12% si se utiliza sulfato de sodio.

^C Este porcentaje bajo cualquiera de las siguientes condiciones: (1) puede ser aumentado a 15, si el material está esencialmente libre de arcilla o esquistos; o (2) si se sabe que la fuente del agregado fino a ser utilizado en el concreto es una fuente que produce agregado fino que cumple con los requisitos de la especificación para agregado fino de la norma NTG-41007 (7) (100-µm) (1-PA), donde P = porcentaje de arena en el peso como un porcentaje de la muestra. (3) el límite de la tabla 3 y la tabla 4 puede ser reducida en el agregado fino (es decir, el agregado fino) para un concreto de alta resistencia. Cálculo ponderado diseñado para limitar la masa máxima de material que pasa el tamiz 75-µm (Nº 200) en el concreto respecto al que se obtendría si ambos agregados fino y grueso fueran suministrados en el porcentaje máximo tabulado para cada uno de estos ingredientes.

^D Para concretos arquitectónicos o pisos interiores o exteriores expuestos, no se garantiza que pese a cumplir con los límites máximos admisibles de arcilla, partículas friables o lavadas, estas partículas pueden quedar expuestas y generar imperfecciones en el acabado.

* En Guatemala se aplica los límites de la Tabla 1

** En Guatemala se aplica a materiales de baja densidad.

Fuente: Norma técnica guatemalteca, NTG – 41007. Agregados para concreto especificaciones.

1.2.4. Agua

En relación con su empleo en el concreto, el agua tiene dos diferentes aplicaciones: como ingrediente en la elaboración de las mezclas y como medio de curado de las estructuras recién construidas. Aunque en ambas aplicaciones las características del agua tienen efectos de variable importancia sobre el concreto, es recomendable emplear de una sola calidad en los casos. Normalmente, en las especificaciones para concreto se hace referencia en primer plano a los requerimientos que debe cumplir el agua para la elaboración del concreto, porque sus efectos son más importantes, y después se suele indicar que el agua que se utilice para el curado debe tener el mismo origen, o similar, para evitar la subestimación de esta segunda aplicación y se utilice agua para curado con características deficientes.

Cuando se utiliza como componente del concreto convencional, el agua normalmente puede llegar a representar aproximadamente entre 10 % y 25 % del volumen del concreto recién mezclado, aunque esta cifra depende del tamaño máximo de agregado a utilizar y del asentamiento que se requiera.

Esto le concede una influencia importante a la calidad del agua de mezclado en el comportamiento y las propiedades futuras del concreto, puesto que cualquier sustancia dañina que se encuentre en ella, aún en bajas proporciones, puede tener efectos negativos de consideración en el concreto.

Una muy común práctica consiste en utilizar agua potable para fabricar concreto sin previa verificación, bajo la suposición que toda agua que es potable también es adecuada para la elaboración del concreto; sin embargo, en ocasiones esta presunción no es válida, puesto que hay aguas potables con contenido de citratos o con pequeñas cantidades de azúcares con motivo de

mejorar su sabor, lo que no afecta su potabilidad, pero puede hacerlas inadecuadas para la fabricación de concreto. Así mismo, el caso contrario pudiera ser más conveniente, es decir, que el agua para la elaboración del concreto no necesariamente requiere ser potable, aunque sí debe satisfacer determinados requisitos mínimos de calidad de acuerdo con las normas establecidas.

1.2.4.1. Requisitos de calidad

Los requisitos de calidad para agua de mezclado de concreto no tienen ninguna relación con el aspecto bacteriológico, sino que se limitan a definir características fisicoquímicas y sus efectos sobre el comportamiento y las propiedades del concreto.

Características fisicoquímicas: Cuando se trata de las características fisicoquímicas del agua para concreto, no hay un consenso general en cuanto a las limitaciones que deben imponerse ante las sustancias e impurezas cuya presencia es muy frecuente, como puede ser el caso de algunas sales inorgánicas (cloruros, sulfatos), sólidos en suspensión, materia orgánica, dióxido de carbono disuelto, entre otros.

Sin embargo, en lo que sí parece haber acuerdo es que no debe tolerarse la presencia de sustancias que son francamente dañinas, como por ejemplo grasas, aceites, azúcares y ácidos. Si el agua no proviene de una fuente de agua potable, se debe determinar su aptitud para su uso en concreto mediante los requisitos fisicoquímicos contenidos en las normas internacionales especialmente para aguas no potables. Para el caso específico de la fabricación de elementos de concreto pre esforzado, hay requisitos que son más estrictos en cuanto a los límites tolerables de ciertas sales que pueden afectar al concreto y al acero de pre esfuerzo, esto también se contempla en normas.

1.3. Propiedades generales del concreto

En seguida, se describen las propiedades generales con las que un concreto debe cumplir:

1.3.1. Durabilidad

La durabilidad del concreto se puede definir como la habilidad del concreto en resistir a la acción del ambiente, al ataque químico y a la abrasión, manteniendo sus propiedades de ingeniería. Los diferentes tipos de concreto necesitan de diferentes durabilidades, dependiendo de la exposición del 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 vida útil del concreto.

1.3.2. Impermeabilidad

Es la cantidad de agua que migra a través del concreto, mientras que le agua está bajo presión o la habilidad del concreto en resistir a la penetración del agua y otra sustancia (líquidos, gases o iones). Generalmente, la misma propiedad que hace el concreto menos permeable lo hace más estanco.

La permeabilidad total del concreto al agua es función de la permeabilidad de la pasta, La permeabilidad y la granulometría del agregado, la calidad de la pasta y de la zona de transición del agregado y la proporción relativa de pasta y agregado. La disminución de la permeabilidad aumenta la resistencia al congelamiento y deshielo del concreto, la restauración, la penetración de sulfatos y de iones cloruro y otros ataques químicos. La permeabilidad es afectada por la

relación agua-cemento, el grado de hidratación del cemento y el periodo del curado húmedo.

1.3.3. Trabajabilidad

Se denomina así a la facilidad de colocar, consolidar y acabar al concreto recién mezclado. El concreto debe ser trabajable pero no se debe permitir que se segregue excesivamente. El sangrado es la migración del agua hacia la superficie superior del concreto recién mezclado producto del asentamiento de los materiales sólidos (cemento, arena y piedra) dentro de la masa. Este asentamiento es consecuencia del efecto combinado de la vibración y de la gravedad. El sangrado excesivo produce un aumento en la relación agua/cemento cerca de la superficie superior, pudiendo provocarse como resultado una capa superior débil de baja durabilidad, especialmente si se llevan a cabo las actividades de acabado mientras está presente el agua de sangrado.

1.3.4. Peso unitario

El peso unitario, es decir el peso que tiene un volumen determinado, tiene gran importancia al momento de diseñar una estructura, pues es éste el que determinará el peso final de la estructura. En el caso del concreto de uso convencional (para pavimentos, edificios y en otras estructuras), se estima que tiene un peso unitario en el rango de 2 240 y 2 400 kg/m³. El peso unitario del concreto puede variar, dependiendo de las cantidades y de la densidad relativa de los agregados, así como de la cantidad del aire contenido (atrapado o incluido intencionalmente), y de los contenidos de agua y de cemento, los que a su vez se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado a utilizar. Para el diseño de estructuras de concreto, generalmente se supone que la combinación del

concreto convencional y de las barras de refuerzo (concreto reforzado), tiene un peso unitario de 2 400 kg/m³.

1.3.5. Resistencia del concreto a fuerzas externas

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 libras por pulgada cuadrada (PSI), o kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²), a una edad de 28 días se le designe con el símbolo f'_c .

La resistencia a la compresión del concreto es su propiedad física fundamental, y es empleada en los cálculos para diseño estructuras fabricadas de este material. El concreto de uso general tiene una resistencia a la compresión entre 210 y 350 kg/cm². El concreto de alta resistencia tiene una resistencia a la compresión de por lo menos 420 kg/cm². Resistencias de 1 400 kg/cm² se han llegado a utilizar en aplicaciones de construcciones especiales.

La resistencia a la flexión del concreto generalmente es utilizada en el diseño de pavimentos y otras losas sobre el terreno. La resistencia a la compresión se puede utilizar como índice de la resistencia a la flexión, una vez que se halla establecido entre ellas la relación empírica correspondiente a los materiales y el tamaño del elemento en cuestión. La resistencia a la flexión, también llamada módulo de ruptura, para un concreto de peso normal se puede aproximar a 1,99 a 2,65 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión. El valor de la resistencia a la tensión del concreto se estima en un

rango de 8 % a 12 % de su resistencia a la compresión y a menudo entre 1,33 y 1,99 veces la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión.

La resistencia a la torsión para el concreto está íntimamente relacionada con el módulo de ruptura y con las dimensiones que tenga el elemento de concreto. La resistencia al esfuerzo cortante en el concreto puede variar desde el 35 % al 80 % de la resistencia a la compresión. El módulo de elasticidad, representado por medio del símbolo E, se define como una relación del esfuerzo normal a la deformación correspondiente (σ/ϵ), para esfuerzos de tensión o de compresión que se encuentren por debajo del límite de proporcionalidad de un material.

Para concretos de peso normal, E fluctúa entre 140 600 y 422 000 kg/cm², y se puede aproximar como 15 100 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión.

2. MATERIALES DE ORIGEN VOLCÁNICO

Son los materiales originados debido a una erupción volcánica, estos son provenientes desde el centro de la tierra y debido a su origen y a las altas temperaturas a las cuales se ven sometidos tanto al momento de estar dentro del volcán como al momento de ser expulsados, poseen una composición distinta a los materiales que se han originado en la superficie terrestre.

2.1. Generalidades

Los principales productos en una erupción son: gases, lava y fragmentos sólidos calientes o en estado incandescente. El tipo de magma y la cantidad de gases son los que determinan el tipo de erupción.

Las lavas tienen más o menos los mismos constituyentes y lo que las diferencia y determina, son algunas de sus propiedades (como color y viscosidad), y la cantidad presente de dióxido de silicio $-\text{SiO}_2-$. Al aumentar la concentración de éste, aumenta la viscosidad. Las temperaturas medidas en ríos de lava van desde $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $1\ 200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En Guatemala las lavas más fluidas son la del Pacaya, seguidas por las del Volcán de Fuego y finalmente las del Volcán Santiaguito.

La liberación o expansión de los gases disueltos en el magma, debido a una disminución en la presión, es la fuerza que impulsa el magma hacia arriba. Los principales gases liberados por la actividad volcánica son: vapor de agua (90 %), dióxido de azufre $-\text{SO}_2-$, monóxido de carbono $-\text{CO}-$ y sulfuro de hidrógeno $-\text{HS}-$

. Las concentraciones de estos varían de un volcán a otro, y en un mismo volcán durante las diferentes etapas o fases en una erupción.

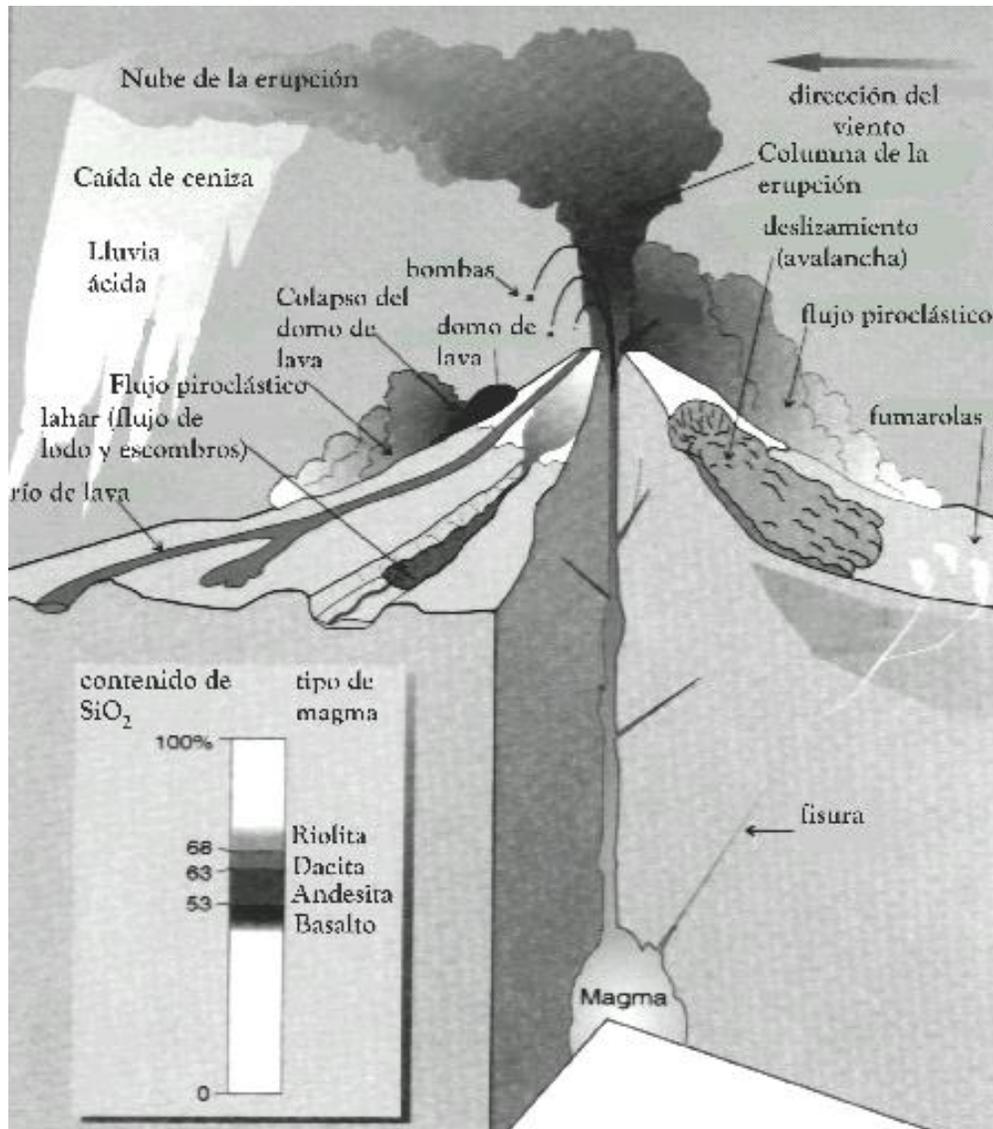
2.2. Productos de la actividad volcánica

A todo el material sólido fragmentado de diferente tamaño y forma, que es lanzado durante una erupción, se le denomina en general piroclastos. Por sus dimensiones se dividen en:

- Bloques: son fragmentos de roca de forma irregular que formaban parte del cono volcánico. Sus dimensiones van de 64 mm. en adelante.
- Bombas volcánicas: son masas de lava de consistencia plástica que al ser lanzadas al aire se solidifican tomando formas redondeadas y aerodinámicas. Sus dimensiones van de pocos a varias decenas de centímetros.
- Escoria o tefra: son fragmentos de lava porosa producida por la rápida liberación de los gases, con dimensiones de unos cuantos centímetros.
- Lapilli: es lava fragmentada y lanzada violentamente que se solidifica en el aire, sus dimensiones van de 4 a 32 mm.
- Ceniza: término genérico del material muy fino que se produce por la fragmentación del magma. Es transportada por el viento a grandes distancias, sus dimensiones son menores a los 2 mm.

Entre los más destacados están los materiales volcánicos fragmentados que salieron a gran temperatura del volcán, y que se conocen como piroclastos.

Figura 2. **Producto de la actividad volcánica**



Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. *Productos de la actividad volcánica*. <http://www.insivumeh.gob.gt/geofisica/programa.htm>. Consulta: 3 de noviembre de 2020.

2.3. Tipos de materiales de origen volcánico

En seguida, se mencionan los tipos de materiales que son de origen volcánico.

2.3.1. Coladas de lava

El contenido de sílice de las lavas permite determinar su viscosidad y consigo su velocidad. Es decir, coladas de lavas silíceas (riolíticas), se mueven lentamente, son gruesas, viscosas y raramente se desplazan largas distancias, mientras que las lavas basálticas (con bajo contenido de sílice), son más fluidas y por lo tanto, viajan a mayores velocidades. De esta manera se pueden clasificar las coladas de lava en cuatro grandes grupos: coladas cordadas, coladas Aa, coladas de lava en bloques y coladas en almohadilladas.

2.3.2. Gases

Los magmas contienen una gran cantidad de compuestos volátiles (compuestos que fácilmente pasan a estado gaseoso, piense en el alcohol etílico, por ejemplo) que se mantienen dentro de ellos gracias a la presión de confinamiento. Al reducirse la presión, los gases comienzan a escaparse; el vapor de agua es la porción gaseosa más abundante en los magmas, aunque también contienen dióxido de azufre, cloro, hidrógeno y argón.

2.3.3. Materiales piroclásticos

Pueden clasificarse en dos grandes grupos: los materiales producidos durante la erupción y los materiales preexistentes a la erupción. Los primeros son gotas de lava incandescente impulsada por la salida de gases contenidos en el

magma que se clasifican según su tamaño (los pequeños son denominados lapilli y cenizas; los grandes, bombas, son expulsados como lavas semi fundidas que adquieren formas aerodinámicas al viajar por el aire) o bien de acuerdo con su textura (las escorias, producto de magmas basálticos, contienen vesículas y son de color oscuro; mientras que las pumitas, características de magmas silíceos, contienen gran cantidad de pequeñas vesículas y son de colores claros).

2.4. Volcán activo del cual será extraído el agregado fino proveniente de la aldea “El Rodeo” Escuintla

El volcán de fuego es uno de los volcanes activos de Guatemala, se puede decir que es uno de los volcanes más icónicos del país no solo por las erupciones, sino que también por su inigualable belleza.

2.4.1. Volcán de fuego

El volcán de Fuego es a lo que se le conoce como un estratovolcán situado entre los departamentos de Sacatepéquez, Escuintla y Chimaltenango, al centro-sur de Guatemala.

El volcán de Fuego tiene una altura de 3 763 msnm. Prácticamente se encuentra descubierto de vegetación más arriba de los 1 300 metros, donde básicamente solo puede encontrarse lava. El volcán de Fuego tiene la forma de un cono que se alarga considerablemente hacia el sur, formando el pie de monte hacia la costa sur. Debajo de él se constituye una meseta orográfica de múltiples características geológicas. Forma una triada de colosos con los volcanes de Agua y Acatenango, próximos a su base; de hecho, comparte el mismo bloque volcánico con el volcán Acatenango, y originalmente ambos eran referidos por los colonos españoles como los volcanes de fuego.

Del volcán nacen varias fuentes hídricas, que se convierten en ríos descendientes hacia la costa sur, en un área de riqueza mineral, óptima para la agricultura.

El tipo de material a extraer es arena, ésta es producto de los piroclastos lanzados en la erupción del volcán de fuego el 03 de junio del año 2018, dentro del material piroclástico se considera la combinación de las cenizas volcánicas y los lapilli, la extracción del material se efectúa en el cauce del río Achiguate, lugar de deposición y explotación del mineral mediante plantas de producción y pobladores oriundos de regiones periféricas.

Figura 3. **Volcán de fuego**



Fuente: elaboración propia.

Guatemala debido a que se encuentra en una zona sísmica y entre tres placas tectónicas, posee una cadena volcánica ubicada en la costa del océano pacífico, en la cual se encuentran 37 volcanes y de estos tres de ellos son catalogados como activos, (INSIVUMEH) ¹

¹INSIVUMEH. *Sismología*. <http://www.insivumeh.gob.gt/geofisica/indice%20sismo.htm>. Consulta: 16 de septiembre de 2020.

2.4.1.1. Otros volcanes activos en Guatemala

En seguida, se mencionan algunos de los volcanes activos de Guatemala.

2.4.1.1.1. Volcán Santiaguito

El volcán Santiaguito, con una altura de 2 550 metros, ubicado a unos 100 km al oeste de Ciudad de Guatemala, también presenta emanaciones de gas y explosiones débiles de ceniza.

2.4.1.1.2. Volcán de Pacaya

El volcán Pacaya, de 2 552 metros de altura y a 20 km al sur de la capital, registra una fumarola débil de color blanca y azul, que se encuentra a una altura aproximada de 150 metros sobre el cráter.

3. PROPIEDADES, ENSAYOS Y NORMAS APLICABLES

El estudio por realizar consiste en la evaluación del agregado fino de origen volcánico en relación con sus propiedades físicas y mecánicas, así mismo, el comportamiento de una mezcla de concreto fresco y endurecido al utilizar este agregado fino de origen volcánico.

Se utilizarán las normas NTG COGUANOR y en su defecto las normas ASTM como base fundamental para la evaluación del agregado fino, agregado grueso y la mezcla de concreto fresco y endurecido, esto proporcionará los resultados que representan las propiedades del material y así determinar si es posible su uso en la mezcla de concreto sin alterar sus propiedades.

3.1. Ensayos de laboratorio para agregado fino

A continuación, se enlistan y describen los métodos de ensayo a utilizar para el agregado fino dictados por las normas de COGUANOR NTG y se hace mención de su equivalente en las normas ASTM.

3.1.1. Ensayo: Contenido de materia orgánica, norma: COGUANOR NTG 41010 h4 (ASTM C-40)

Método de ensayo. Determinación de materia orgánica en los agregados finos para concreto: Este método de ensayo cubre dos procedimientos para la determinación aproximada de la presencia de materia orgánica o impurezas perjudiciales en los agregados para concreto. Un procedimiento utiliza una solución de color estándar y el otro utiliza colores estándar en vidrio.²

² COGUANOR NTG 41010 h4. *Método de ensayo. Determinación de materia orgánica en los agregados finos para concreto.* p. 1 – 9.

3.1.2. Ensayo: Análisis granulométrico, norma: COGUANOR NTG 41010 h1 (ASMT C-136)

Método de ensayo. Análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y grueso: Este método de ensayo cubre la determinación por tamizado de la distribución por tamaño de partículas de agregados finos y gruesos.

- **Resumen del método de ensayo**

Una muestra de ensayo de agregado seco de masa conocida se separa a través de una serie de mallas de aberturas progresivamente más pequeñas para la determinación de la distribución por tamaño de partículas.³

3.1.3. Ensayo: Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agua, norma: COGUANOR NTG 41010 h9 (ASTM C-128)

Método de ensayo. Determinación de la densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino: Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad relativa y la absorción de agregados finos. La densidad relativa (gravedad específica) que es una cantidad sin dimensiones, puede expresarse como seca (s), saturada de superficie seca (sss) o como densidad relativa aparente (gravedad específica), la densidad S y la densidad relativa s son determinadas después de secar el agregado. La densidad relativa sss y la absorción son determinadas después de sumergir el agregado en agua por una duración prescrita.

- **Resumen del método de ensayo**

Se sumerge una muestra del agregado en agua por 24 +/- 4 h, para llenar esencialmente los poros. Luego se retira la muestra del agua, se seca el agua de la superficie de las partículas y se determina la masa. Subsecuentemente, se coloca la muestra (o una porción de esta) en un recipiente graduado y se determina el volumen de esta por el método gravimétrico o volumétrico. Finalmente se seca la muestra al horno y se determina su masa. Utilizando los valores de masa obtenidas y las fórmulas indicadas es posible calcular la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción.⁴

³ COGUANOR NTG 41010 h1. *Método de ensayo. Análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y grueso.* p. 1 – 17.

⁴ COGUANOR NTG 41010 h9. *Método de ensayo. Análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y grueso.* p. 1 – 20.

3.1.4. Ensayo: Densidad aparente (masa unitaria) e índice de vacíos, norma: COGUANOR NTG 41010 h2 (ASTM C-29)

Método de ensayo: se usa frecuentemente para determinar los valores de la densidad aparente que se requieren para utilizarse en muchos métodos para seleccionar el proporcionamiento de las mezclas de concreto.

La densidad aparente también puede usarse para determinar las relaciones masa/volumen para hacer las conversiones en contratos de compra. Sin embargo, se desconoce la relación entre el grado de compactación de los agregados en una unidad de transporte o en un montón apilado y la que se logra con este método de ensayo. Además, los agregados en las unidades de transporte y pilas generalmente tienen absorción y humedad superficial (la última de las cuales afecta su volumen), en tanto este método de ensayo determina la densidad en masa sobre una base seca.

Se incluye un procedimiento para calcular el porcentaje de vacíos entre las partículas de los agregados basándose en la densidad aparente determinada mediante este método de ensayo.⁵

3.1.5. Ensayo: Determinación por lavado del material que pasa por el tamiz No. 200, norma: COGUANOR NTG 41010 h3 (ASTM C-117)

Resumen método de ensayo: Una muestra de agregado se lava de la manera prescrita, utilizando ya sea agua corriente libre de impurezas o agua que contenga un agente humectante, cuando se especifique. El agua de lavado decantada, la cual contiene material suspendido y disuelto, se pasa a través de un tamiz de 75 μm (No. 200). La pérdida en masa que resulta del tratamiento de lavado se calcula como un porcentaje de masa del espécimen original y se reporta como el porcentaje de material más fino que el tamiz de 75 μm (No. 200) por lavado.⁶

⁵ COGUANOR. NTG 41010 h2. *Método de ensayo. Determinación de la densidad aparente (masa unitaria) e índice de vacíos en los agregados.* p. 1 – 12.

⁶ COGUANOR. NTG 41010 h3. *Método de ensayo. Determinación por lavado del material que pasa por el tamiz 75 μm (No. 200) en agregados minerales.* p. 1 – 13.

3.2. Ensayos de laboratorio para agregado grueso

Seguidamente, se enlistan y describen los métodos de ensayo a utilizar para el agregado grueso dictados por las normas de COGUANOR NTG y se hace mención a su equivalente en las normas ASTM.

3.2.1. Ensayo: Análisis granulométrico, norma: COGUANOR NTG 41010 h1 (ASTM C-136)

Método de ensayo. Análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y grueso: Este método de ensayo cubre la determinación por tamizado de la distribución por tamaño de partículas de agregados finos y gruesos.

- Resumen del método de ensayo

Una muestra de ensayo de agregado seco de masa conocida se separa a través de una serie de mallas de aberturas progresivamente más pequeñas para la determinación de la distribución por tamaño de partículas.⁷

3.2.2. Ensayo: Densidad, densidad aparente (gravedad específica) y absorción de agua, norma: COGUANOR NTG 41010 h8 (ASTM C-127)

Resumen del método de ensayo: Una muestra de agregado se sumerge en agua por 24 ± 4 h para esencialmente llenar los poros. Luego se remueve la muestra del agua, se seca el agua de la superficie de las partículas y se determina el volumen de la muestra por el método de desplazamiento de agua. Finalmente se seca la muestra al horno y determinar su masa. Utilizando los valores de masa obtenidas y las fórmulas indicadas en este método de ensayo es posible calcular la densidad relativa y la absorción.⁸

⁷ COGUANOR. NTG 41010 h1. *Método de ensayo. Análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y grueso.* p. 1 – 17.

⁸ COGUANOR. NTG 41010 h8. *Método de ensayo. Determinación de la densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso.* p. 1 – 19.

3.2.3. Ensayo: Densidad aparente (masa unitaria) e índice de vacíos, norma: COGUANOR NTG 41010 h2 (ASTM C-29)

Método de ensayo: se usa frecuentemente para determinar los valores de la densidad aparente que se requieren para utilizarse en muchos métodos para seleccionar el proporcionamiento de las mezclas de concreto.

La densidad aparente también puede usarse para determinar las relaciones masa/volumen para hacer las conversiones en contratos de compra. Sin embargo, se desconoce la relación entre el grado de compactación de los agregados en una unidad de transporte o en un montón apilado y la que se logra con este método de ensayo. Además, los agregados en las unidades de transporte y pilas generalmente tienen absorción y humedad superficial (la última de las cuales afecta su volumen), en tanto este método de ensayo determina la densidad en masa sobre una base seca.

Se incluye un procedimiento para calcular el porcentaje de vacíos entre las partículas de los agregados basándose en la densidad aparente determinada mediante este método de ensayo.⁹

3.2.4. Ensayo: Determinación por lavado del material que pasa por el tamiz No. 200, norma: COGUANOR NTG 41010 h3 (ASTM C-117)

Resumen método de ensayo: Una muestra de agregado se lava de la manera prescrita, utilizando ya sea agua corriente libre de impurezas o agua que contenga un agente humectante, cuando se especifique. El agua de lavado decantada, la cual contiene material suspendido y disuelto, se pasa a través de un tamiz de 75 μm (No. 200). La pérdida en masa que resulta del tratamiento de lavado se calcula como un porcentaje de masa del espécimen original y se reporta como el porcentaje de material más fino que el tamiz de 75 μm (No. 200) por lavado.¹⁰

⁹COGUANOR. NTG 41010 h2. *Método de ensayo. Determinación de la densidad aparente (masa unitaria) e índice de vacíos en los agregados.* p. 1 – 12.

¹⁰ COGUANOR. NTG 41010 h3. *Método de ensayo. Determinación por lavado del material que pasa por el tamiz 75 μm (No. 200) en agregados minerales.* p. 1 – 13.

3.2.5. Ensayo: Determinación de la resistencia al desgaste por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles, norma: COGUANOR NTG 41010 h20 (ASTM C-131)

Este ensayo en la máquina de Los Ángeles es una medida del desgaste de los agregados minerales de graduaciones estándar, resultante de la combinación de acciones que incluyen abrasión, impacto y trituración en un tambor rotatorio de acero, que contiene un número especificado de esferas de acero; el número de esferas depende de la graduación de la muestra. Cuando el tambor rota, una pestaña recoge la muestra y las esferas de acero, arrastrándolas consigo hasta que ellas caen al lado opuesto del tambor, creando un efecto de impacto y trituración. El contenido es entonces arrastrado dentro del tambor con una acción abrasiva y trituradora hasta que golpea de nuevo la pestaña y el ciclo se repite. Después del número prescrito de revoluciones, el contenido es removido del tambor y la porción de agregado es tamizada para medir el desgaste como pérdida en porcentaje.¹¹

3.2.6. Ensayo: Determinación de la estabilidad a la disgregación de los agregados mediante el uso del sulfato de sodio o del sulfato de magnesio, norma: COGUANOR NTG 41010 h6 (ASTM C-88)

Este método cubre el ensayo de agregados para estimar su estabilidad a la disgregación cuando están sometidos a una acción de intemperismo u otras acciones. Esto se lleva a cabo con la inmersión repetida del agregado en soluciones saturadas de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio, seguidas de secado al horno hasta deshidratar parcial o totalmente las sales precipitadas en los espacios de los poros permeables. La fuerza expansiva interna derivada de la rehidratación de la sal bajo la re-inmersión, simula la expansión del agua al congelarse. Este método proporciona información útil para juzgar la estabilidad de los agregados cuando no hay

¹¹ COGUANOR. NTG 41010 h20. *Método de ensayo. Determinación de la resistencia al desgaste, del agregado grueso de tamaño hasta de 37.5 mm (1 ½ pulg), por abrasión e impacto en la Máquina de los Ángeles.* p. 1 – 12.

información adecuada disponible de los registros de comportamiento del material expuesto a las condiciones de meteorización reales.¹²

3.3. Ensayos de laboratorio para concreto fresco

Seguidamente, se enlistan y describen los métodos de ensayo a utilizar para la mezcla de concreto en estado fresco, dictados por las normas de COGUANOR NTG y se hace mención a su equivalente en las normas ASTM.

3.3.1. Ensayo: Asentamiento, norma: COGUANOR NTG 41017 h4 (ASTM C-143)

Método de ensayo. Determinación del asentamiento del concreto hidráulico: Esta norma cubre el método de ensayo para la determinación del asentamiento para concreto de cemento hidráulico, tanto en el laboratorio como en el campo. En ella se describen además la geometría del aparato de ensayo, el material del que debe estar fabricado, así como su correcta utilización.

- **Resumen del método de Ensayo**

Una nuestra recién mezclada de concreto se coloca y compacta mediante apisonamiento en un molde con forma de cono. El molde se levanta y se permite que el concreto se asiente. La distancia vertical entre la posición original y la posición final, medida desde el centro de la sección superior del concreto es el llamado asentamiento.¹³

¹² COGUANOR. NTG 41010 h6. *Método de ensayo. Determinación de la estabilidad a la disgregación de los agregados mediante el uso del sulfato de sodio o del sulfato de magnesio.* p. 1 – 15.

¹³COGUANOR. NTG 41017 h4. *Método de ensayo. Determinación del asentamiento del concreto hidráulico.* p. 1 – 9.

3.3.2. Ensayo: Determinación de la densidad aparente (masa unitaria), rendimiento (volumen de concreto) y contenido de aire (gravimétrico) del concreto, norma: COGUANOR NTG 41017 h5 (ASTM C-138)

Método de ensayo. Este método cubre la determinación de la densidad aparente de concreto recién mezclado y proporciona fórmulas para calcular el rendimiento de concreto, el contenido de cemento y el contenido de aire del concreto. El rendimiento se define como el volumen del concreto producido con una mezcla de cantidades conocidas de los materiales que la componen¹⁴

3.3.3. Ensayo: Determinación del contenido de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método de presión, norma: COGUANOR NTG 41017 h7 (ASTM C-231)

Método de ensayo. Este método de ensayo cubre la determinación del contenido de aire en el concreto hidráulico recién mezclado, mediante la observación del cambio de volumen del concreto producido por un cambio en la presión. Este método de ensayo ha sido destinado para concretos y morteros elaborados con agregados relativamente densos, para los cuales el factor de corrección por agregado puede determinarse satisfactoriamente.

Cubre la determinación del contenido de aire en el concreto hidráulico fresco recién mezclado. El ensayo tiene como fin determinar el contenido de aire en mezclas de concreto fresco, excluyendo cualquier aire que se encuentre dentro de los vacíos internos de las partículas de los agregados. Por esta razón, el ensayo es aplicable al concreto hecho con agregado de partículas relativamente densas y requiere la determinación del factor de corrección del agregado¹⁵

¹⁴ COGUANOR. NTG 41017 h5. *Método de ensayo. Determinación de la densidad aparente (masa unitaria) rendimiento (volumen de concreto producido) y contenido de aire (gravimétrico) del concreto.* p. 1 – 9.

¹⁵COGUANOR. NTG 41017 h7. *Método de ensayo. Determinación del contenido de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método de presión.* p. 1 – 23.

3.3.4. Ensayo: Medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado, norma: COGUANOR NTG 41053 (ASTM C-1064)

Método de ensayo. Este método de ensayo permite medir la temperatura de mezclas de concreto recién mezclado, la temperatura medida representa la temperatura al tiempo del ensayo y puede no ser indicativa de la temperatura del concreto recién mezclado a un tiempo posterior. Puede ser usado para verificar que el concreto satisfaga un requisito específico de temperatura.¹⁶

3.4. Ensayos de laboratorio para concreto endurecido

Subsiguientemente, se enlistan y describen los métodos de ensayo a utilizar para el concreto endurecido, dictados por las normas de COGUANOR NTG y se hace mención a su equivalente en las normas ASTM.

3.4.1. Ensayo: Resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, norma: COGUANOR NTG 41017 h1 (ASTM C-39)

Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto: este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tales como cilindros moldeados y núcleos taladrados. Está limitada a concreto con peso unitario que exceda 50 lb/ft³ (800 kg/m³).

Resumen del método de ensayo

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que

¹⁶ COGUANOR. NTG 41053. *Método de ensayo. Medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado.* p. 1 – 5.

ocurra la falla. La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo dentro del área de la sección transversal del espécimen.¹⁷

¹⁷COGUANOR. NTG 41017 h1. *Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.* p. 1 – 23.

4. TRANSFORMACIÓN DE MATERIA PRIMA

4.1. Descripción de los materiales para la fabricación de la mezcla patrón y la mezcla experimental con agregado fino de origen volcánico

En seguida, se describen los materiales que serán utilizados para elaborar la mezcla de concreto patrón y la mezcla de concreto experimental:

4.1.1. Mezcla patrón

- **Cemento:** es un cemento Portland con adición de puzolana natural y se clasifica como cemento para uso general en la construcción. Esto quiere decir que, por las características propias de éste, puede ser utilizado en prácticamente todas las actividades típicas de la construcción, en especial en la fabricación de concreto premezclado y mezclado en obra y en la elaboración de morteros de diferentes tipos. Cumple con normativa COGUANOR NTG 41095 para tipo UGC, corresponde a una categoría de 4 060 PSI, en una presentación de saco de 42,5 kg, tiene un color adecuado para concretos expuestos y fachadas arquitectónicas.
- **Agregado fino:** el agregado fino utilizado es arena de río proveniente del río Villa Lobos, distribuida por la empresa “TUBAC”.
- **Agregado grueso:** el piedrín utilizado es producto de trituración de roca de cantera, proveniente de la zona 18 y obtenido en la trituradora “La Roca”, su tamaño nominal es de ½”.

- Agua: el agua a utilizar es agua que cumple con los requerimientos necesarios para ser potable, obtenida del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería.

4.1.2. Mezcla con agregado fino de origen volcánico

- Cemento: es un cemento Portland con adición de puzolana natural y se clasifica como cemento para uso general en la construcción. Esto quiere decir que, por las características propias de éste, puede ser utilizado en prácticamente todas las actividades típicas de la construcción, en especial en la fabricación de concreto premezclado y mezclado en obra y en la elaboración de morteros de diferentes tipos. Cumple con normativa COGUANOR NTG 41095 para tipo UGC, corresponde a una categoría de 4 060 PSI, en una presentación de saco de 42,5 kg, tiene un color adecuado para concretos expuestos y fachadas arquitectónicas.
- Agregado grueso: se utilizó el mismo agregado grueso que en la mezcla patrón, producto de trituración de roca de cantera, proveniente de la zona 18 y obtenido en la trituradora “La Roca”.
- Agregado fino: agregado de origen volcánico, obtenido de la planta de producción y arenal MACIZO (PAE), ubicada en la aldea “El Rodeo” del municipio de Escuintla, que a su vez es obtenida del río “Achiguate”. Dicho banco de material se dedica a extraer la arena que se encuentra en el cauce del río a causa de la erupción del volcán de fuego en el año 2018.

Figura 4. **Vista aérea de la planta de producción y arenal MACIZO**



Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Vista aérea de la ubicación de la arena volcánica a utilizar**



Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Vista aérea de maquinaria extrayendo la arena volcánica a utilizar**



Fuente: elaboración propia.

- Agua: el agua utilizada es obtenida del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, al igual que en la mezcla patrón.

5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

5.1. Diseño de mezcla

El diseño de mezcla teórico para la mezcla patrón y para la mezcla con agregado fino de origen volcánico es el mismo, diseñadas para un asentamiento de 10 cm a 8 cm, y para alcanzar una resistencia a la compresión de 3 000 PSI (210 kg/cm²).

Sin embargo, al momento de realizar el diseño de mezcla práctico, por las condiciones de trabajabilidad de las mezclas, hubo una variación de la relación agua/cemento en ambos concretos, esta variación es uno de los principales factores que afectan la resistencia a la compresión, también se vio afectado el asentamiento dado que para ambas mezclas el asentamiento fue de 3 cm.

Para la mezcla patrón la relación agua/cemento fue de 0,622 y la proporción utilizada fue 1: 2,57: 3,27: 0,736, y en la mezcla con arena volcánica la relación agua cemento fue de 0,614 y una proporción de 1: 2,40: 3,05: 0,507.

5.2. Probetas para ensayo a compresión

Las probetas se elaboran bajo los lineamientos de la norma NTG 41061 (ASTM C-31), práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en obra, en esta norma se encuentran los lineamientos para preparar y curar los especímenes cilíndricos, también describe los moldes como moldes hechos de acero o hierro fundido, herméticos, y otros parámetros que deben de

tener los moldes, el tamaño de los moldes debe de ser la longitud dos veces el diámetro, para este caso se usaron los cilindros de 6" x 12".

Figura 7. **Moldes a utilizar para elaboración de especímenes a ensayar**



Fuente: elaboración propia.

5.3. Preparación de las mezclas de concreto

Seguidamente, se describe el procedimiento a seguir al momento de realizar las mezclas de concreto, los pasos fueron los mismos para ambas mezclas.

5.3.1. Pesado de materiales

Los materiales fueron pesados de acuerdo con la proporción a utilizar, en ambas mezclas se utilizó un saco de cemento y la cantidad de los agregados y agua fue variada.

Para la mezcla patrón la proporción en volumen (litros), fue, arena: 84,40, piedrín: 98,10 y agua libre: 26,44. Para la mezcla con arena volcánica la proporción volumétrica en litros fue, arena: 60,70, piedrín: 92,10 y agua libre: 26,10.

Figura 8. **Materiales para mezcla patrón**



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Materiales para mezcla experimental**



Fuente: elaboración propia.

5.3.2. Mezclado de materiales

Para la mezcla de los materiales de ambos concretos, se utilizó la mezcladora o concretera a disposición del centro de investigaciones de la facultad de ingeniería.

Una vez pesados los materiales se procedió a mezclarlos, primero se hizo el concreto de la mezcla patrón, adicionando el cemento, la arena, el piedrín y por último el agua teniendo cuidado de agregar la cantidad de agua necesaria para la buena trabajabilidad y consistencia del concreto.

Para la mezcla con arena volcánica se siguió el mismo procedimiento luego de haber realizado el vaciado de la concretera con el concreto de la mezcla patrón, al igual que en la elaboración del primer concreto, se tuvo el cuidado de agregar la cantidad correcta de agua.

Figura 10. Mezcla de materiales



Fuente: elaboración propia.

5.3.3. Moldeado de cilindros

Como primer paso para el moldeado de los cilindros, los moldes a utilizar (los cuales fueron descritos anteriormente), se cubren con un desencofrante para que no exista adherencia entre las paredes del molde y el concreto.

Luego de esto, se procede a verter la mezcla de concreto en 3 capas llenando cada una de ellas $\frac{1}{3}$ del volumen del molde y con 25 apisonamientos por capa distribuidos de manera uniforme para reducir vacíos en la mezcla, para esto se utiliza una varilla metálica de $\frac{5}{8}$ " de diámetro y de punta redonda.

Figura 11. **Elaboración de cilindros**



Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Apisonamiento de la mezcla de concreto**



Fuente: elaboración propia.

Una vez llenos los moldes, se golpearon las paredes de los cilindros con un martillo de hule esto también con el fin de reducir los vacíos que pueden crearse al momento del llenado por capas, luego de esto se procede a realizar el razado utilizando una herramienta metálica y plana, para quitar el exceso de mezcla, crear una superficie lisa y uniforme en los cilindros para que se puedan ensayar de la mejor manera.

Figura 13. **Razado de cilindros**



Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Cilindros en estado fresco**



Fuente: elaboración propia.

5.3.4. Curado

El curado es el proceso por el cual el concreto hidráulico se endurece con el tiempo como resultado de la hidratación continua del cemento, este procedimiento consiste en sumergir en agua las probetas de concreto para garantizar sus propiedades, el curado de los especímenes es de gran importancia dado que con el correcto procedimiento se evita que el concreto pierda humedad y se disminuye el riesgo de que aparezcan grietas en los cilindros principalmente en la superficie, provocadas por un secado prematuro debido a la interrupción de la reacción química entre el agua y el cemento.

Según se fueron ensayando las probetas, fue el tiempo de curado respectivo para cada una de ellas, siendo las edades de 3, 7 y 28 días.

5.3.5. Desencofrado

El desencofrado de los especímenes fue 24 horas después del moldeado de las probetas, las cuales fueron almacenadas en una superficie plana dentro del centro de investigaciones de la facultad de ingeniería.

5.4. Procedimiento de ensayos

Subsiguientemente, se describen los ensayos realizados a las mezclas de concreto en estado fresco y endurecido.

5.4.1. Ensayo de asentamiento

El ensayo de asentamiento o *slump*, se realiza después de haber mezclado los materiales para corroborar que el concreto tenga una buena consistencia y comprobar que sea adecuado para su uso.

El procedimiento por seguir según la norma NTG 41017 h4 se describe de la siguiente manera:

Humedecer el molde y colocarlo en una superficie plana, rígida, no absorbente y húmeda. El molde debe ser mantenido firmemente en su lugar durante su llenado y limpieza de su perímetro, por el operador parado sobre los estribos o por un dispositivo de sujeción a una placa de base, de la muestra de concreto obtenida, inmediatamente llene el molde en tres capas, cada una aproximadamente 1/3 del volumen del molde. Colocar el concreto en el molde usando un cucharón, mueva el cucharón alrededor del perímetro de la abertura del molde para asegurar una distribución pareja del concreto con una mínima segregación.

Varillar cada capa 25 veces uniformemente en toda la sección transversal de cada capa, para la capa del fondo es necesario inclinar la varilla ligeramente y dar aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro, continuando con golpes verticales en forma de espiral hacia el centro, para cada capa superior, la varilla debe penetrar a través de la capa que está varillando y en la capa inferior aproximadamente 25 mm (1 plg).

Al llenar y varillas la última capa, hacer que el concreto exceda la capacidad del molde antes de empezar a varillas, después de haber varillado la última capa, emparejar la superficie del concreto mediante el enrase y rodamiento de la varilla de apisonamiento. Continuar sosteniendo el molde firmemente hacia abajo y remueva el concreto del área que rodea la base del molde para evitar la interferencia con el movimiento del concreto que se está descargando. De inmediato retirar el molde, levantándolo cuidadosamente en dirección vertical a una altura de 300 mm en 5 +/- 2 segundos, con un movimiento ascendente uniforme sin movimientos laterales o de torsión.

De inmediato medir el asentamiento determinando la diferencia vertical entre la parte superior del molde y el centro original desplazado de la superficie superior del espécimen, si ocurriera la caída evidente de una porción, el desplome o el desprendimiento de una parte de la masa de concreto, desechar la prueba y hacer una nueva prueba con otra porción de la muestra.¹⁸

¹⁸ COGUANOR. NTG 41017 h4. *Método de ensayo. Determinación del asentamiento del concreto hidráulico.* p. 1 – 9.

Figura 15. **Medición del asentamiento**



Fuente: elaboración propia.

5.4.2. Ensayo determinación de densidad aparente, rendimiento y contenido de aire

Humedecer el interior del recipiente de medición y colóquelo en una superficie plana, nivelada y firme. Utilizando el cucharón, coloque el concreto en el recipiente de medición en el número de capas requerido, mientras se coloca el concreto en el recipiente, mover el cucharón alrededor del perímetro de la abertura del recipiente para asegurar una distribución pareja del concreto con una segregación mínima. Consolidar cada capa por el procedimiento de varillado o por vibración, enrasar la capa final consolidada.

Varillado: Colocar el concreto en el recipiente de medición en tres capas de aproximadamente igual volumen. Varillar cada capa 25 veces, uniformemente sobre la sección transversal, con el extremo redondeado de la varilla, varillar la primera capa del fondo en todo su espesor. Al varillar esta capa tener cuidado de evitar causar daño al fondo del recipiente, para cada capa superior permita a la varilla penetrar a través de la capa que se está varillando y penetrar en la capa inferior aproximadamente 25 mm (1 plg). Después de que cada capa haya sido varillada, golpee los lados del recipiente de medida, de 10 a 15 veces con el mazo para cerrar cualquier vacío dejado por la varilla de apisonar y para expulsar cualesquiera burbujas grandes de aire que pudieran haber quedado atrapadas.

Enrase: después de concluir la consolidación del concreto, enrase la superficie superior deslizando la regla enrasadora apoyada en el reborde del recipiente de medición, con un movimiento de aserrado hasta que el recipiente esté justo al nivel

de llenado. Al terminar la consolidación, el recipiente no debe presentar un exceso o deficiencia de concreto.

Preparación para el ensayo con medidor tipo A: limpiar completamente las pestañas o bordes del recipiente y de la cubierta ensamblada para que cuando esta se coloque en su lugar se logre un cierre hermético a presión. Ensamblar el aparato y agregue agua sobre el concreto por medio del tubo hasta que llegue a la marca media en el tubo vertical. Incline el aparato ensamblado aproximadamente 30° respecto a la vertical usando el fondo del recipiente como un pivote, describa varios círculos completos con el extremo superior de la columna y simultáneamente golpee ligeramente la cubierta para mover cualquier burbuja de aire atrapada en la muestra de concreto. Regresar el aparato ensamblado a la posición vertical y llenar la columna de agua un poco arriba de la marca cero, mientras golpea ligeramente los lados del recipiente. Llevar el nivel de agua a la marca cero del tubo graduado antes de cerrar la entrada superior de la columna de agua.

La superficie interior de la cubierta de ensamble debe conservarse limpia y libre de aceite o grasa; la superficie debe humedecerse para evitar la adhesión de burbujas de aire que podrían ser difíciles de desalojar después de ensamblar el aparato.

Procedimiento de ensayo: aplicar una presión mayor que la deseada de ensayo al concreto por medio de una pequeña bomba de mano. Para evitar restricciones locales, golpee ligera y rápidamente los lados del medidor y cuando el medidor de presión indique la presión exacta de ensayo, leer el nivel de agua y registre a la división o media división más cercana de las marcas en el tubo graduado o en el medidor de vidrio del tubo vertical. Liberar gradualmente la presión del aire a través de la abertura superior de la columna de agua y golpee ligeramente los lados del recipiente durante aproximadamente un minuto, registrar el nivel de agua y calcular el contenido de aire aparente.¹⁹

¹⁹COGUANOR. NTG 41017 h5. *Método de ensayo. Determinación de la densidad aparente (masa unitaria) rendimiento (volumen de concreto producido) y contenido de aire (gravimétrico) del concreto.* p. 1 – 9.

Figura 16. **Ensayo determinación de densidad aparente**



Fuente: elaboración propia.

5.4.3. **Ensayo para determinar temperatura del concreto fresco**

El procedimiento para realizar este ensayo según la norma NTG 41053 se describe de la siguiente manera:

Colocar el dispositivo medidor de la temperatura de modo que el sensor de temperatura esté sumergido al menos 75 mm (3 plg) en el concreto recién mezclado. Presionar suavemente la superficie del concreto alrededor del dispositivo medidor de la temperatura para cerrar los vacíos provocados por la inmersión y para que la temperatura del aire circundante no afecte la medición.

Dejar el dispositivo medidor de temperatura en la mezcla de concreto recién mezclado por un periodo mínimo de dos minutos, pero no más de cinco minutos; entonces leer y registrar la misma, con una aproximación de 0,5°C. No retirar del concreto el dispositivo cuando se haga la lectura.²⁰

²⁰COGUANOR. NTG 41053. *Método de ensayo. Medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado.* p. 1 – 5.

Figura 17. **Temperatura del concreto fresco**



Fuente: elaboración propia.

5.4.4. Ensayo resistencia a compresión

El procedimiento por seguir que dicta la norma NTG 41017 h1 para la determinación de la resistencia a compresión del concreto, se describe de la siguiente manera:

Colocación del espécimen: coloque el bloque de apoyo plano (inferior) con su cara endurecida hacia arriba, sobre la mesa o platina de la máquina de ensayo directamente debajo del bloque de apoyo de asiento esférico (superior). Limpiar las caras de apoyo de los bloques de apoyo superior e inferior y del espécimen de ensayo y coloque el espécimen de ensayo sobre el bloque de apoyo inferior. Alinear cuidadosamente el eje del espécimen con el centro de empuje del bloque de asiento esférico.

Verificación de cero y asentamiento del bloque: previo al ensayo del espécimen, verificar que el indicador de carga esté colocado en cero. En los casos en los que el indicador no está adecuadamente colocado en cero, ajuste el indicador. Después de colocar el espécimen en la máquina, pero previo a aplicarle la carga, incline manual y suavemente la parte móvil del bloque de asiento esférico, de modo que su cara de asiento quede paralela al tope del espécimen de ensayo.

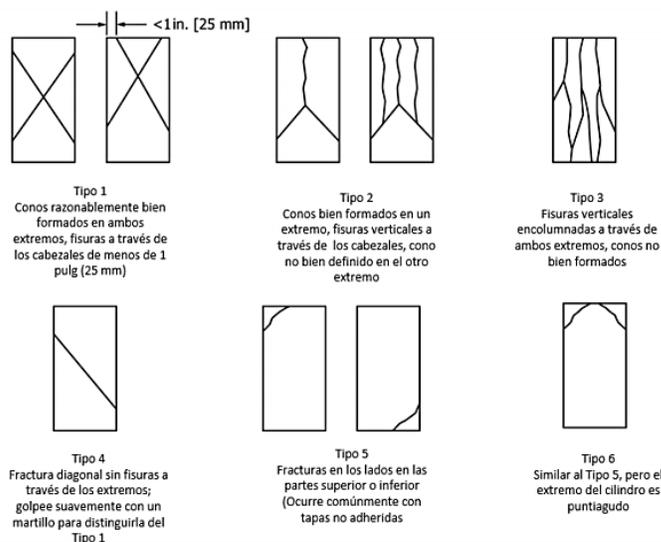
Velocidad de carga: aplicar la carga continuamente y sin impacto.

Durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga anticipada, debe ser permitida una velocidad de carga mayor. La velocidad de carga mayor debe ser aplicada de manera controlada de modo tal que el espécimen no esté sometido a una carga de impacto.

No haga ajustes en la velocidad de movimiento (desde la platina a la cruceta) cuando está siendo alcanzada la carga última y la velocidad de esfuerzo decrece debido a fisuración en el espécimen.

Aplicar la carga de compresión hasta que el indicador de carga muestre que la carga está decreciendo progresivamente y el espécimen muestre un patrón de fractura bien definido. Continuar comprimiendo el espécimen hasta que el usuario esté seguro de que se ha alcanzado la capacidad última. Registrar la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo, y anotar el tipo de modelo de fractura. Si la resistencia medida es menor de lo esperado, examinar el concreto fracturado y anote la presencia de vacíos de aire grandes, evidencia de segregación, si las fracturas pasan predominantemente alrededor o a través de las partículas de agregado grueso.²¹

Figura 18. **Esquema de los modelos de fractura típicos**



Fuente: Norma Técnica Guatemalteca. *Determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto*. p. 19.

²¹COGUANOR. NTG 41017 h1. *Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*. p. 1 – 23.

5.5. Datos obtenidos

Se presentan los datos obtenidos de los ensayos realizados a los agregados fino y grueso, también se presentan los valores de los ensayos realizados a las mezclas de concreto en estado fresco y endurecido y los datos de los diseños de mezcla.

5.5.1. Datos del diseño de mezcla

Las proporciones obtenidas para elaborar el diseño de mezcla práctico son las siguientes:

Tabla III. **Proporción volumétrica**

PROPORCIÓN VOLUMÉTRICA	
MEZCLA	PROPORCIÓN
mezcla patrón	1 : 2,57 : 3,27 : 0,736
mezcla experimental	1 : 2,40 : 3,05 : 0,507

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

5.5.2. Cantidad de material

Para la elaboración de las mezclas de concreto, fue utilizada la cantidad de material necesaria para obtener 6 cilindros de cada mezcla y para realizar los ensayos de concreto fresco.

Tabla IV. **Cantidad de material para la mezcla patrón**

MEZCLA PATRÓN			
concreto normal f'c = 246 kg/cm ²			
Materiales	Proporción en peso	Proporción en volumen (Litros)	Proporción en volumen (KG/M ³)
cemento	1,00	1 SACO	322,00
arena	2,60	84,40	826,00
piedrín / grava	3,30	98,10	1 052,00
agua libre	0,62	26,44	200,00

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla V. **Cantidad de material para la mezcla experimental**

MEZCLA CON ARENA VOLCÁNICA			
concreto normal f'c = 246 kg/cm ²			
MATERIALES	PROPORCIÓN EN PESO	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (KG/M ³)
cemento	1,00	1 SACO	326,00
arena	2,40	60,70	781,00
piedrín / grava	3,10	92,10	993,00
agua libre	0,61	26,10	200,00

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

5.5.3. Datos obtenidos de los ensayos y cálculos

En seguida, se presentan los datos obtenidos de los ensayos y cálculos realizados:

5.5.3.1. Datos obtenidos de los ensayos para agregado fino

Seguidamente, se presentan los datos obtenidos de los ensayos realizados a los dos tipos de agregado fino.

Tabla VI. **Contenido de materia orgánica**

CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA COGUANOR NTG 41010 h4 (ASTM C-40)		
Tipo de arena	Contenido máximo permisible	Aceptable
	3	
Arena de río	3	SI
Arena volcánica	1	SI

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla VII. **Análisis granulométrico**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO COGUANOR NTG 41010 h1 (ASMT C-136)								
Tipo de arena	Tamiz No. (mm)	9,50	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,15
Arena de río	% que pasa	100,00	100,00	100,00	89,60	62,30	28,70	7,60
Arena volcánica		98,90	89,80	80,90	66,70	46,70	29,00	15,70

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla VIII. **Índice de uniformidad de coeficiente de curvatura**

Coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura para agregado fino		
Tipo de arena	Cu = D60/D10	Cc = D30²/D10*D60
Arena de río	4	1
Arena volcánica	7,87	0,5

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Densidad, densidad relativa y absorción de agua**

Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agua, COGUANOR NTG 41010 h9 (ASTM C-128).			
Tipo de arena	Densidad (sss)(kg/m3)	Densidad relativa (sss)	Absorción (%)
Arena de río	2 520,00	2,53	2,3
Arena volcánica	2 750,00	2,76	0,3

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla X. **Densidad aparente e índice de vacíos**

Densidad aparente (masa unitaria) e índice de vacíos, COGUANOR NTG 41010 h2 (ASTM C-29).				
Tipo de arena	Masa unitaria, compactada (kg/m3)	Masa unitaria, suelta (kg/m3)	Porcentaje de vacíos, compactado (%)	Porcentaje de vacíos, suelto (%)
Arena de río	1 380,00	1 310,00	46,00	48,00
Arena volcánica	1 880,00	1 680,00	32,00	39,00

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla XI. **Determinación por lavado del material que pasa por el tamiz No.200**

Determinación por lavado del material que pasa por el tamiz No. 200 COGUANOR NTG 41010 h3 (ASTM C-117)		
Tipo de arena	Pasa tamiz # 200 (%)	Retenido tamiz 6,35 (%)
Arena de río	1,60	0,00
Arena volcánica	7,60	6,50

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla XII. **Determinación de la estabilidad a la disgregación a los sulfatos**

Determinación de la estabilidad a la disgregación de los agregados mediante el uso del sulfato de sodio o del sulfato de magnesio, COGUANOR NTG 41010 h6 (ASTM C-88).			
Tipo de arena		% de desgaste	% desgaste ref. a graduación
Arena volcánica			
PASA	RETENIDOS		
No. 100 (149 mm)	FONDO	-	-
No. 50 (297 mm)	No. 100 (149 mm)	0,8	0,1064
No. 30 (595 mm)	No. 50 (297 mm)	0,8	0,1416
No. 16 (1,19 mm)	No. 30 (595 mm)	1,2	0,24
No. 8 (2,38 mm)	No. 16 (1,19 mm)	3,3	0,4686
No. 4 (4,76 mm)	No. 8 (2,38 mm)	5,9	0,5251
3/8" (9,52 mm)	No. 4 (4,76 mm)	6,3	0,5733
TOTALES		-	2,000

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla XIII. **Aceptabilidad de la disgregación a los sulfatos**

Pérdida promedio ponderada de disgregación a los sulfatos		
límite	Promedio	Aceptable
10 %	4,25	SI

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

5.5.3.2. Datos obtenidos de los ensayos para agregado grueso

En seguida, se presentan los datos obtenidos de los ensayos para agregado grueso.

Tabla XIV. **Análisis granulométrico para agregado grueso**

Análisis granulométrico, COGUANOR NTG 41010 h1 (ASTM C-136).								
Tamiz No. (mm)	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16
% que pasa	100,00	100,00	98,00	45,00	9,00	2,00	0,00	0,00

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla XV. **Densidad, densidad relativa y absorción de agua para agregado grueso**

Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agua, COGUANOR NTG 41010 h8 (ASTM C-127).		
Densidad (sss)(kg/m³)	Densidad relativa (sss)	Absorción (%)
2 740,00	2,75	1,00

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla XVI. **Densidad aparente e índice de vacíos para agregado grueso**

Densidad aparente (masa unitaria) e índice de vacíos, COGUANOR NTG 41010 h2 (ASTM C-29).			
Masa unitaria, compactada (kg/m ³)	Masa unitaria, suelta (kg/m ³)	Porcentaje de vacíos, compactado (%)	Porcentaje de vacíos, suelto (%)
1 560,00	1 430,00	43,00	48,00

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla XVII. **Lavado del material que pasa por el tamiz No. 200 para agregado grueso**

Determinación por lavado del material que pasa por el tamiz No. 200 COGUANOR NTG 41010 h3 (ASTM C-117)	
Pasa tamiz # 200 (%)	Retenido tamiz 6,35 (%)
0,40	1,00

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla XVIII. **Resistencia al desgaste por abrasión**

Determinación de la resistencia al desgaste por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles, COGUANOR NTG 41010 h20 (ASTM C-131).			
Graduación	Porcentaje de desgaste	Máximo admisible	Aceptable
B	32 %	50 %	SI

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

5.5.3.3. Datos obtenidos de los ensayos para concreto fresco

A continuación, se presentan los datos obtenidos de los ensayos realizados al concreto fresco.

- Ensayo de asentamiento

Tabla XIX. **Asentamiento**

ASENTAMIENTO	
MEZCLA	VALOR DEL ASENTAMIENTO (cm)
Mezcla patrón	3
Mezcla con arena volcánica	3

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

- Ensayo Determinación de la densidad aparente (masa unitaria), rendimiento (volumen de concreto), y contenido de aire (gravimétrico), del concreto.

Tabla XX. **Densidad aparente y contenido de aire**

MEZCLA	PESO UNITARIO (kg/m ³)	CONTENIDO DE AIRE MEDIDOR TIPO B (%)
Mezcla patrón	2 292,00	4,5
Mezcla con arena volcánica	2 456,00	2,1

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

- Medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado

Tabla XXI. **Temperatura de mezcla de concreto**

MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA (°C)	
Mezcla patrón	18,5
Mezcla con arena volcánica	18,5

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

5.5.3.4. **Datos obtenidos de los ensayos para concreto endurecido**

- Ensayo de resistencia a la compresión en especímenes de concreto

Los datos se muestran primero para la muestra patrón en cada edad de ensayo y después se presentan los datos de la mezcla con arena volcánica en cada edad de ensayo.

Tabla XXII. **f'c mezcla patrón a los 3 días**

Mezcla patrón		
Edad	3 días	
No. probeta	resistencia a compresión	
	kg/cm ²	PSI
1	64	930
2	65	940
Promedio	64,5	935

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla XXIII. **f'c mezcla patrón a los 7 días**

Mezcla patrón		
Edad	7 días	
No. probeta	resistencia a compresión	
	kg/cm2	PSI
3	98	1 420
4	92	1 330
Promedio	95	1 375

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla XXIV. **f'c mezcla patrón a los 28 días**

Mezcla patrón		
Edad	28 días	
No. probeta	resistencia a compresión	
	kg/cm2	PSI
5	153	2 220
6	149	2 160
Promedio	151	2 190

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla XXV. **f'c mezcla experimental a los 3 días**

Mezcla con arena volcánica		
Edad	3 días	
No. probeta	resistencia a compresión	
	kg/cm2	PSI
1	134	1 940
2	123	1 780
Promedio	128,5	1 860

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla XXVI. **f'c mezcla experimental a los 7 días**

Mezcla con arena volcánica		
Edad	7 días	
No. probeta	resistencia a compresión	
	kg/cm2	PSI
3	179	2 600
4	159	2 310
Promedio	169	2 455

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla XXVII. **f'c mezcla experimental a los 28 días**

Mezcla con arena volcánica		
Edad	28 días	
No. probeta	resistencia a compresión	
	kg/cm2	PSI
5	214	3 110
6	237	3 440
Promedio	225,5	3 275

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

6. CÁLCULOS Y RESULTADOS

6.1. Cálculos realizados

Los cálculos por realizar se harán en base a los datos obtenidos en los ensayos a compresión de los cilindros de concreto con ambas mezclas, el fin de realizar estos cálculos es poder comparar los resultados de ambas mezclas.

6.1.1. Cálculo del coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura

Para el cálculo del coeficiente de uniformidad se utilizó la ecuación 1 obtenida del libro Fundamentos de ingeniería geotécnica de Braja M. Das siendo esta la siguiente:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (\text{ecuación 1})$$

Donde:

Cu: coeficiente de uniformidad

D60: tamaño igual o menor al 60 % en peso

D10: tamaño igual o menor al 10 % en peso

Para el cálculo del coeficiente de curvatura se utiliza la ecuación 2 obtenida del libro Fundamentos de ingeniería geotécnica de Braja M. Das.:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} \quad (\text{ecuación 2})$$

Donde:

Cc: coeficiente de curvatura

D30: tamaño igual o menor al 30 % en peso

D10: tamaño igual o menor al 10 % en peso

D60: tamaño igual o menor al 60 % en peso

6.1.2. Cálculo de la resistencia a compresión

Para el cálculo de la resistencia a la compresión se debe hacer la relación entre la carga máxima que resistió cada probeta con el área de la sección transversal de dicha probeta.

Para esto se utilizan las ecuaciones 3 a la 5 que se encuentran en la Norma técnica guatemalteca 41017 h1:

Unidades del sistema internacional (SI)

$$f_{cm} = \frac{4\,000 * P_{max}}{\pi D^2} \quad (\text{ecuación 3})$$

Unidades libra pulgada

$$f_{cm} = \frac{4 * P_{max}}{\pi D^2} \quad (\text{ecuación 4})$$

Donde:

fcm: resistencia a la compresión en MPa (lb/plg²).

Pmax: carga máxima kN (lb fuerza)

$A_{t_{prom}}$: área transversal promedio.

d: diámetro promedio de la probeta

$$A_{t_{prom}} = \frac{\pi * d^2}{4} \quad (\text{ecuación 5})$$

6.2. Cálculo de la relación entre datos teóricos vs datos reales

Subsiguientemente, se presentan los cálculos realizados entre los datos teóricos y reales.

Tabla XXVIII. **Relación de datos teóricos vs datos reales para la mezcla patrón**

Relación resistencia real vs teórica Mezcla patrón				
f'c	3000	PSI		
Día de ensayo	resistencia esperada de f'c (%)	Resistencia teórica (PSI)	Resistencia real alcanzada (PSI)	f'cno alcanzado de f'c teórico (%)
3	50 %	1 500	935	37,67 %
7	70 %	2 100	1 375	34,52 %
28	100 %	3 000	2 190	27,00 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Relación de datos teóricos vs datos reales para la mezcla experimental**

Relación resistencia real vs teórica Mezcla con arena volcánica				
f'c	3000	PSI		
Día de ensayo	resistencia esperada de f'c (%)	Resistencia teórica (PSI)	Resistencia real alcanzada (PSI)	f'c si alcanzado de f'c teórico (%)
3	50 %	1 500	1 860	19,35 %
7	70 %	2 100	2 455	14,46 %
28	100 %	3 000	3 275	8,40 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Datos para graficar**

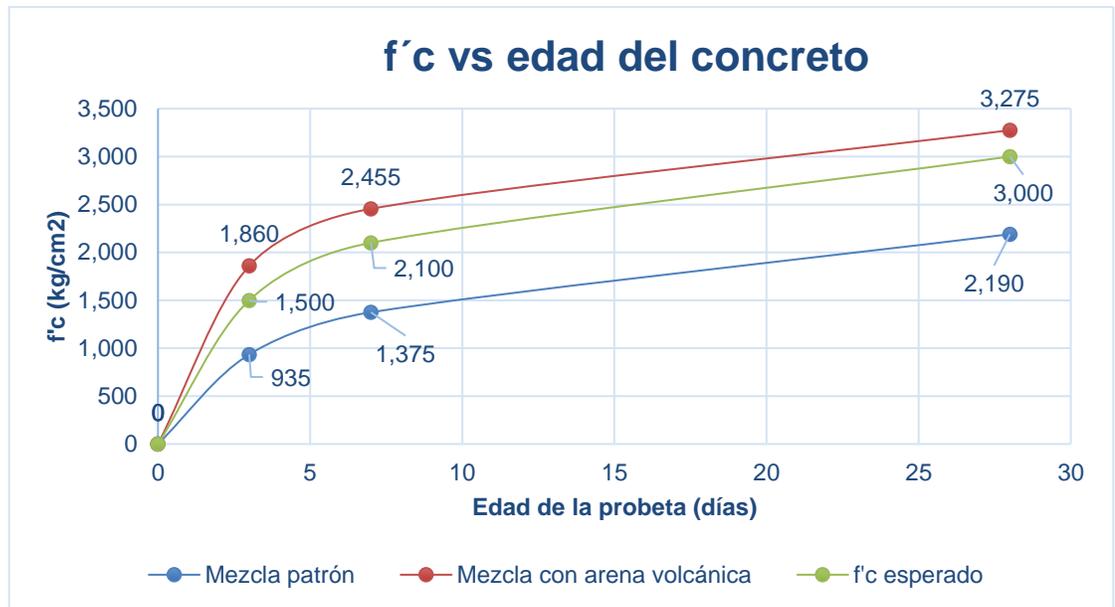
Datos para la gráfica					
Día de ensayo	f'c mezcla patrón (kg/cm ²)	f'c mezcla arena volcánica (kg/cm ²)	f'c esperada (kg/cm ²)	mezcla patrón no alcanzó f'c (%)	mezcla con arena volcánica se pasó de f'c (%)
0	0	0	0	0	0
3	935	1 860	1 500	0,38	0,19
7	1 375	2 455	2 100	0,35	0,17
28	2 190	3 275	3 000	0,27	0,09

Fuente: elaboración propia

6.3. Gráficas

Seguidamente, se presentan las gráficas realizadas con los datos obtenidos de los ensayos y con los datos calculados.

Figura 19. Gráfica $f'c$ vs edad del concreto



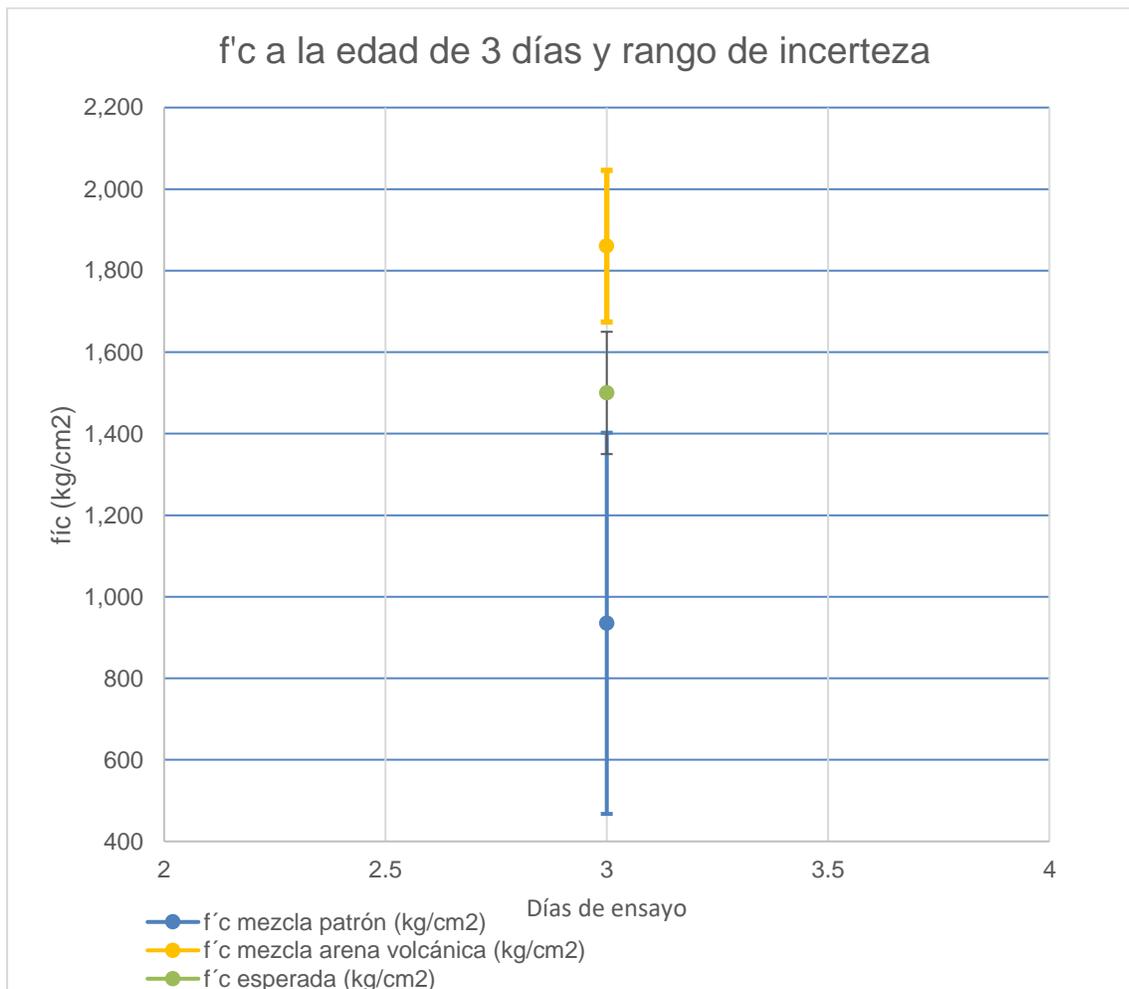
Fuente: elaboración propia.

Para poder visualizar de mejor manera los datos, se propuso un porcentaje de error que se observa de manera gráfica por medio de una cuantía de error para cada tipo de mezcla, en donde se observa el traslape de las cuantías representando así, el porcentaje no alcanzado y el porcentaje alcanzado y sobrepasado de $f'c$ para cada mezcla en comparación con una mezcla ideal que cumple con los porcentajes de $f'c$ esperados para cada edad del concreto.

6.3.1. Cuantía de error en cada mezcla para observar traslape en las barras de error

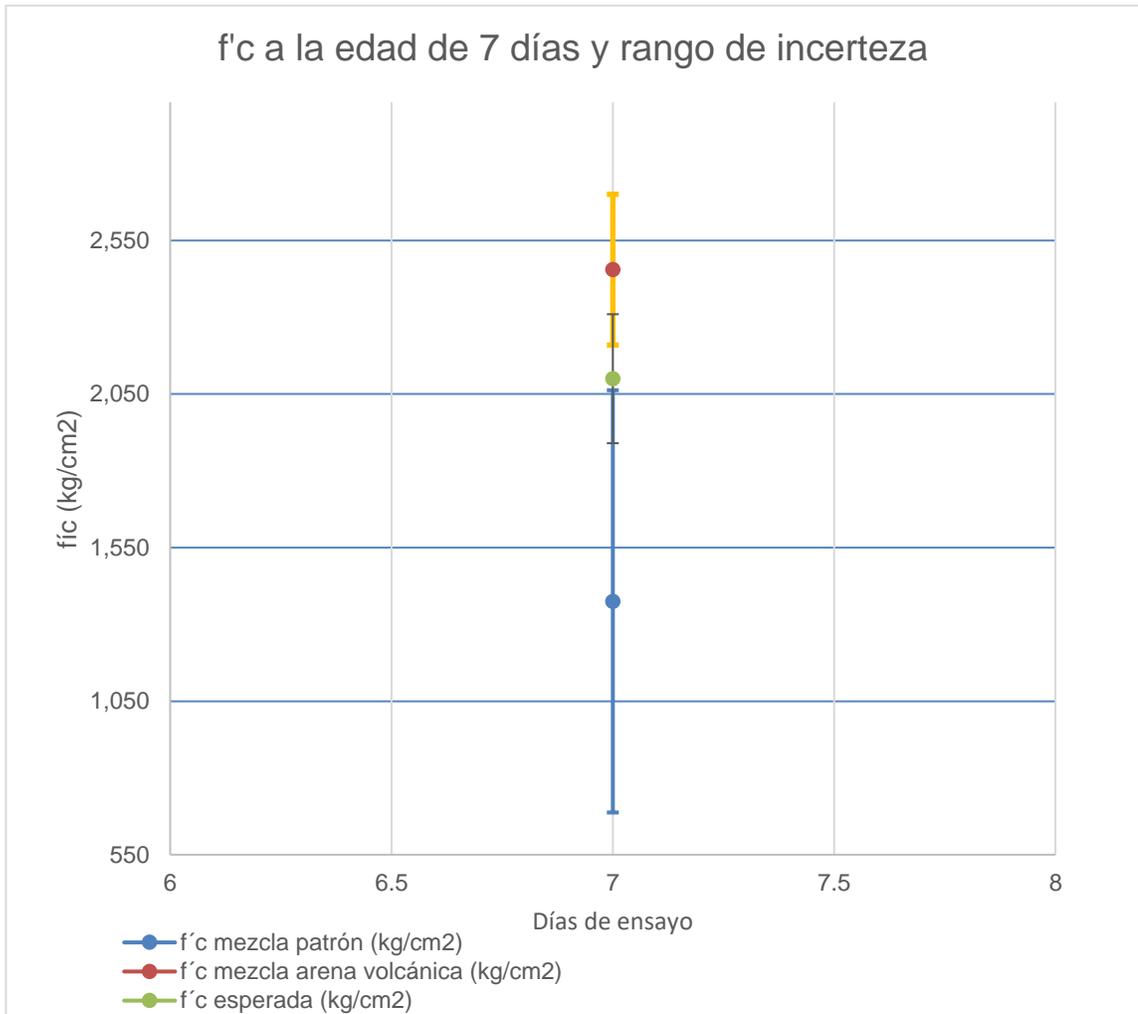
- Para la mezcla patrón: 50 %
- Para mezcla con arena volcánica: 10 %
- Para mezcla con $f'c$ esperado (mezcla ideal): 10 %

Figura 20. Gráfica $f'c$ edad de 3 días e incerteza



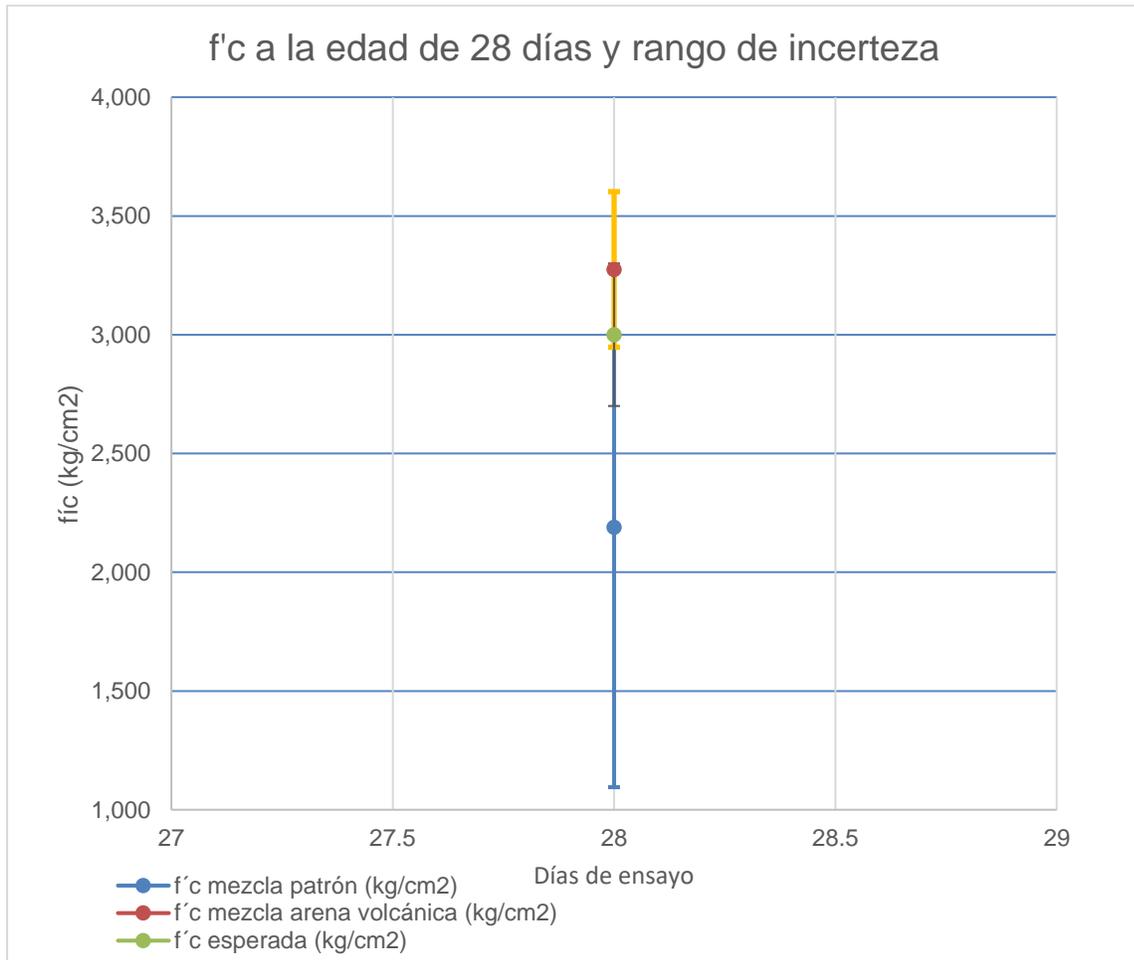
Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Gráfica f'c edad de 7 días e incerteza



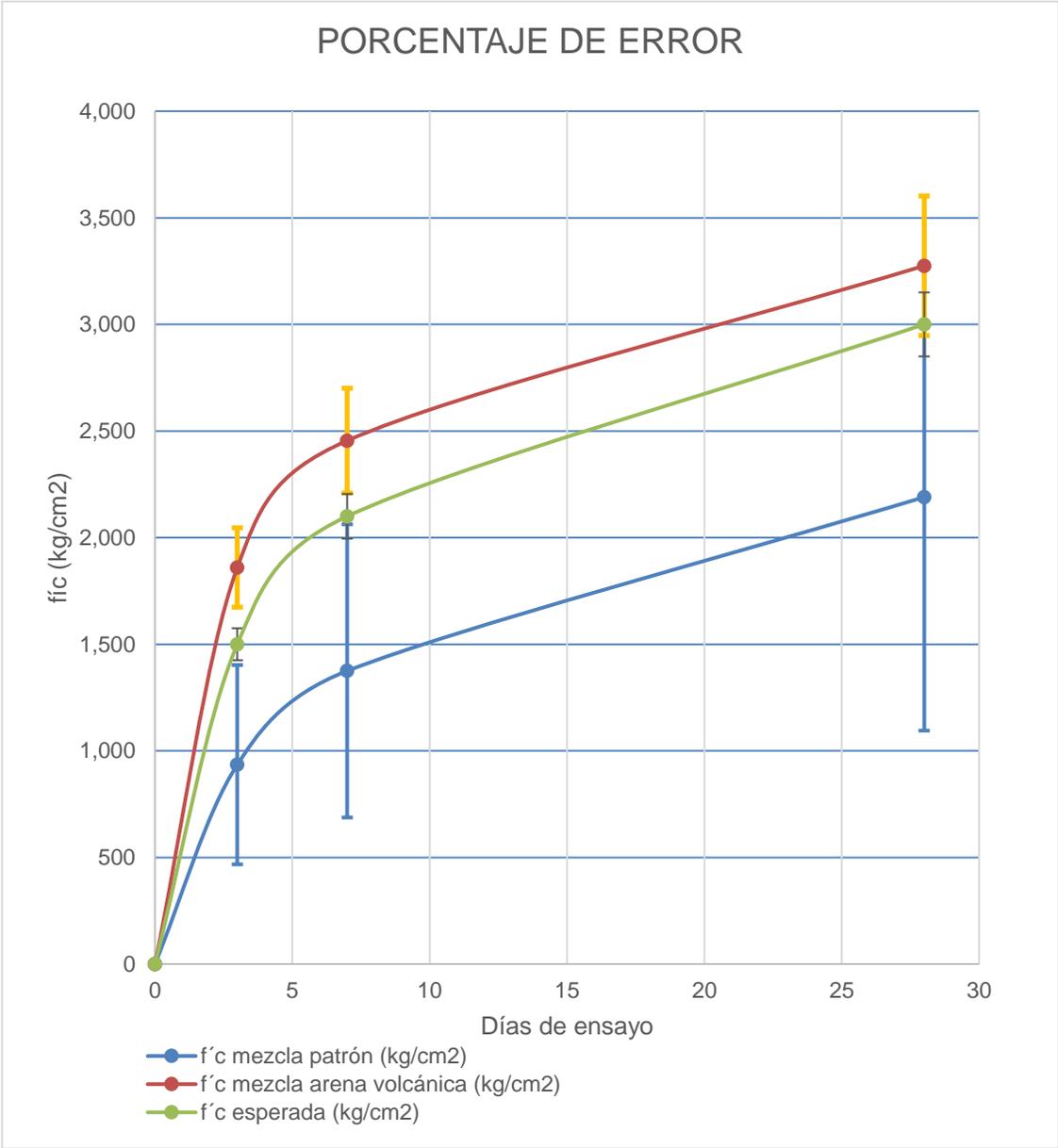
Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Gráfica $f'c$ edad de 28 días e incerteza



Fuente: elaboración propia.

Figura 23. Gráfica porcentaje de error



Fuente: elaboración propia.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1. Agregado fino

En seguida, se presenta el análisis de resultados de los ensayos realizados a los agregados finos utilizados.

7.1.1. Ensayo contenido de materia orgánica

La arena utilizada en ambos casos es extraída del cauce de un río, debido a esto, el agregado al estar en contacto directo con el agua y los agentes que puedan estar presentes en los alrededores del río sufre cierta contaminación que se representa con el contenido de materia orgánica, la cual afecta las propiedades que el agregado fino posee y, por consiguiente, también afecta la calidad del concreto.

La norma NTG 41010 h4 (ASTM C-40) tiene valores para el No. de placa orgánica el cual indica el color estándar de Gardner "3" como el valor máximo aceptable para el contenido de materia orgánica en el agregado y por encima de este valor el contenido de materia orgánica es perjudicial.

En este caso las dos arenas tienen un contenido de materia orgánica aceptable, la arena de río se encuentra en el límite aceptable con un valor de 3, mientras que la arena volcánica tiene un valor de 1, e indica que la arena volcánica tiene un bajo contenido de materia orgánica, por lo tanto, no es arena contaminada y sus propiedades no están siendo afectadas, ayudando así a la calidad del concreto.

7.1.2. Ensayo análisis granulométrico

Del análisis granulométrico se puede saber si el agregado tiene una correcta gradación, conociendo el coeficiente de uniformidad, el cual se define como la relación entre el diámetro correspondiente al 60 % del peso del material y el diámetro por el que pasa el 10 % del material, si el coeficiente de uniformidad es menor de 5, la granulometría es uniforme, si está comprendido entre 5 y 20 el agregado es poco uniforme y si es mayor de 20 se trata de un agregado bien gradado.

Se puede observar en la tabla No. que la arena de río presenta una distribución por tamaño de las partículas uniforme, que constituye una arena fina, esto debido a que el coeficiente de uniformidad tiene un valor de 4, mientras que la arena volcánica tiene una gradación de partículas en donde el tamaño de grano es poco uniforme con un coeficiente de uniformidad de 7,87.

Del análisis granulométrico también se puede obtener el coeficiente de curvatura (Cc), este proporciona información importante sobre las características del agregado, mientras menor sea el "Cc", representa un agregado con menos vacíos, densidad mayor, menos compresible, más impermeable y fácil de trabajar.

En este caso se puede observar que el coeficiente de curvatura de la arena de río tiene un valor de 1, mientras que el coeficiente de curvatura de la arena volcánica tiene un valor de 0,5, comparando estos valores, se puede decir que la arena volcánica tiene un Cc menor en un 50 % al valor de la arena de río, siendo esto una referencia importante en la interpretación de la comparación en la resistencia a la compresión de ambas mezclas, es por esta razón que la mezcla con arena volcánica logró una mejor trabajabilidad con menor cantidad de agua

que la requerida por la mezcla patrón, obteniendo en ambas mezclas el mismo asentamiento, teniendo un gran impacto en la resistencia a la compresión del concreto en ambas mezclas.

7.1.3. Ensayo densidad, densidad relativa y absorción de agua

Se puede observar que el concreto de la mezcla patrón, es menos denso que el concreto hecho con la arena volcánica, esto representado por el coeficiente de curvatura que indica que la arena volcánica tiene una mayor densidad por obtener un valor menor de "Cc" en un 50 % que en la arena de río, en condición saturada de superficie seca de los agregados fino y grueso, esto quiere decir que las partículas de agregado son llenadas con agua, a través de una inmersión de agua en un tiempo determinado y evitando que haya agua libre sobre la superficie.

También el concreto de la mezcla patrón requirió más agua de lo calculado debido a que la arena de río presenta una absorción del 2,3 % mientras que el concreto con la arena volcánica, requirió menos agua de lo establecido en los cálculos debido a que esta arena absorbe menos agua según lo ensayado, presentando una absorción de 0,3 %.

Esta diferencia entre la absorción de agua del agregado fino en las mezclas de concreto es una de las principales razones por la cual la resistencia a compresión del concreto se vio afectada, provocando que el concreto de la mezcla patrón no alcanzara la resistencia a compresión en ninguna edad de ensayo, mientras que el concreto con arena volcánica superó la resistencia a compresión esperada en todas las edades de ensayo.

7.1.4. Ensayo densidad aparente e índice de vacíos

La densidad aparente del agregado fino es la masa por unidad de volumen ocupado, en este caso la arena de río en las dos condiciones de ensayo tuvo una menor masa que la arena volcánica, la masa unitaria compactada de la arena de río es de 1 380,00 kg/m³ y la masa de la arena volcánica es de 1 880,00 kg/m³, la masa unitaria suelta de la arena de río es de 1 310,00 kg/m³ y la arena volcánica tiene una masa unitaria suelta de 1 680,00 kg/m³.

Esto también se ve reflejado en el porcentaje de vacíos en las mismas condiciones de ensayo y la arena de río tiene un mayor porcentaje de vacíos tanto compactado como suelto, esto tiene una alta relación con la masa unitaria y por consiguiente la arena de río también tiene un mayor porcentaje de vacíos tanto compactado como suelto siendo este 46 % compactado y 48 % suelto, mientras que el porcentaje de vacíos de la arena volcánica es de 32 % compactado y 39 % suelto.

7.1.5. Ensayo determinación por lavado del material que pasa por el tamiz No.200

El tamiz No.200 es un tamiz que tiene 200 aberturas en una pulgada², lo que significa que las partículas que pasan este material deben tener una dimensión menor a 0,074 mm y las partículas que pasan este tamiz son conocidas como limos. La cantidad de partículas finas en un agregado es importante ya que estas afectan las propiedades del concreto creando barreras físicas que evitan la correcta reacción entre el cemento y el agua. Estas partículas pueden ser limos o arcillas las cuales dificultan el contacto de las partículas de agua con las de cemento y a consecuencia de esto, se pueden formar fisuras en el concreto.

Se determinó que la arena de río tiene 1,60 % de partículas finas, mientras que la arena volcánica tiene un 7,60 %, esto quiere decir que la arena volcánica tiene un alto contenido de finos comparado con la arena de río, esta característica física puede provocar que el concreto no posea buena adherencia debido a que hay partículas de cemento que no podrán hidratarse y esto puede afectar significativamente la eficiencia, por esta razón la arena volcánica no es recomendable utilizar a menos que se realice el ensayo de determinación por lavado del material, pues así se eliminan estas partículas perjudiciales.

Al contrario de la arena volcánica, la arena de río tiene un bajo porcentaje de partículas finas, lo cual es bueno porque no perjudica considerablemente las características del concreto.

En este ensayo, también se pudo determinar que la arena de río no tiene partículas mayores a $\frac{1}{4}$ " dado que tiene un 0,00 % de material retenido en el tamiz 6,35, mientras que la arena volcánica tiene un 6,50 % de partículas que quedaron retenidas en este tamiz.

7.1.6. Ensayo de determinación de la estabilidad a la disgregación de los agregados mediante el uso del sulfato de sodio o del sulfato de magnesio

Se determinó que la estabilidad del agregado fino de origen volcánico es aceptable en vista de que según la norma COGUANOR NTG 41007 (ASTM C-33), el agregado debe presentar una resistencia a disgregación a los sulfatos con una pérdida promedio ponderada no mayor al 10 %, esta arena presenta un 4,25 % de desgaste, esto quiere decir que la arena volcánica presenta una buena resistencia cuando está sometida a acciones del intemperismo debido a que este

ensayo simula la fuerza expansiva del agua al congelarse dentro de los poros de las partículas que conforman el agregado.

7.2. Agregado grueso

Posteriormente, se presenta el análisis de resultados de los ensayos realizados al agregado grueso:

7.2.1. Ensayo análisis granulométrico

Del ensayo granulométrico se puede saber si el agregado grueso cumple con los límites de gradación establecidos por la norma NTG 41010 h1 para agregado grueso y según la gráfica construida con los datos obtenidos de laboratorio, se determina la uniformidad del agregado para asegurar que éste cumpla con su función en la mezcla de concreto.

Esto se puede rectificar calculando el coeficiente de uniformidad y de curvatura, debido a que según su valor se puede saber si el agregado posee una correcta gradación, siendo en este caso el coeficiente de uniformidad de 1,33 y el de curvatura de 1,33, esto demuestra que el agregado cumple con una gradación uniforme, que es la requerida para un agregado grueso que será utilizado para realizar mezcla de concreto.

Se puede observar en la gráfica granulométrica que el material es uniforme pues el 98 % pasó el tamiz $\frac{3}{4}$ ", el 45 % pasó el tamiz $\frac{1}{2}$ " y el resto del material se distribuyó entre los demás tamices quedando retenidas las partículas más pequeñas en el tamiz No. 8 con únicamente el 2 % del material.

7.2.2. Ensayo densidad, densidad relativa y absorción de agua

La densidad es la relación que hay entre el peso y el volumen de masa del agregado grueso sin tomar en cuenta las cavidades vacías o saturadas de la grava, pues esto depende de la permeabilidad del material, para este agregado grueso se obtuvo una densidad de 2 740,00 kg/m³, con este valor se podrá determinar la densidad relativa (gravedad específica).

La condición para determinar la densidad relativa del agregado es la masa saturada superficialmente seca por unidad de volumen de partículas e incluye el volumen de los vacíos y de los poros llenos de agua, esto sirve para calcular el volumen que el agregado grueso ocupará en la mezcla del concreto pues este valor se incluye al realizar el diseño de mezcla, este valor es adimensional y se obtuvo un valor de densidad relativa de 2,75, dicho número es el resultado de la relación entre su densidad y la densidad del agua.

El porcentaje de absorción de agua indica la cantidad de agua que penetra los poros de las partículas del agregado, esto no incluye el agua que se adhiere a su superficie, únicamente es el agua dentro de los poros, para este agregado grueso el porcentaje de absorción de agua fue de un 1 %, lo que quiere decir que no era un agregado poroso y por lo tanto su capacidad de absorber agua es baja, esta característica depende de la composición y origen del agregado grueso.

7.2.3. Ensayo densidad aparente e índice de vacíos

La densidad aparente es la relación entre el peso de la masa del agregado grueso y el volumen que sus partículas ocupan, incluyendo los poros saturados y vacíos, dando como resultado la masa unitaria que en este caso se obtuvo una masa unitaria en condición compactada y otra en estado suelto. La densidad

aparente compactada fue de 1 560,00 kg/m³ y suelta fue de 1 430,00 kg/m³, estos valores representan el peso del agregado grueso en un volumen unitario de concreto puesto que todas las partículas ocupan un volumen dentro de la masa del concreto y el agua dentro de los poros del agregado no es parte del agua suelta para realizar la mezcla.

El índice de vacíos para el agregado grueso compactado y suelto, es la relación entre el valor de la gravedad específica y de la densidad del agua, en este caso el porcentaje de vacíos compactado fue de un 43 % y en estado suelto el índice de vacíos es del 48 %, el porcentaje de vacíos en la condición compactada es menor como era de esperarse en vista de que en la compactación realizada con la varilla lo que se obtiene es la reducción del vacío contenido entre las partículas de grava por medio del reacomodamiento de las mismas considerando que los vacíos en el volumen unitario de los agregados se conoce como el espacio entre partículas que no está ocupado por los materiales minerales sólidos en la masa.

7.2.4. Ensayo determinación por lavado del material que pasa por el tamiz No.200

Las partículas que pasan el tamiz No.200, es decir las partículas que son más finas o las que tienen un diámetro menor que 0,074 mm son conocidas como limos, se determinó que el agregado grueso utilizado tiene un porcentaje que pasa el tamiz No. 200 del 0,40 %, es un valor bajo de partículas finas y de esto se puede decir que las partículas de grava no tienen una gran cantidad de material fino en su superficie, y ayuda en la correcta adherencia del agregado grueso con el resto de los materiales que componen la mezcla de concreto.

El porcentaje retenido en el tamiz 6,35 detiene las partículas que tienen una dimensión mayor a 6,35 mm y para el agregado grueso utilizado el porcentaje en este tamiz es del 1,00 %.

7.2.5. Ensayo determinación de la resistencia al desgaste por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles

El desgaste por abrasión en un agregado es de importancia ya que conociendo esta propiedad se puede garantizar la calidad, durabilidad y la resistencia del agregado pétreo, con este ensayo puede determinarse la capacidad que el agregado tiene de resistir a fracturas internas y degradación provocadas por choques entre sí y por objetos externos como lo son las esferas de acero las cuales están golpeando al agregado durante todo el ensayo.

La resistencia a la abrasión de un agregado grueso para concreto debe tener un porcentaje de desgaste menor del 50 % según la norma NTG 41007, en este caso el agregado grueso utilizado en ambas mezclas presentó un desgaste a la abrasión del 32 %, indica que se encuentra dentro del valor aceptable, de este porcentaje obtenido también se puede saber que el agregado grueso utilizado, con el paso del tiempo, seguirá aportando al concreto la capacidad de resistir el desgaste por impactos y evitará fracturas o desprendimientos del concreto debido a fracturas que pueda tener el agregado grueso.

7.3. Concreto fresco

Seguidamente, se presenta el análisis de resultados de los ensayos realizados al concreto fresco.

7.3.1. Ensayo de asentamiento

Ambas mezclas fueron diseñadas para un asentamiento de 10 cm a 8 cm para poder alcanzar una resistencia a la compresión de 3 000 PSI (210 kg/cm²), como bien se ha dicho anteriormente, al momento de realizar el diseño de mezcla práctico para la mezcla patrón, el resultado del asentamiento fue de 3 cm utilizando la relación agua/cemento y proporción diseñada, debido a esto se tuvo que tomar la decisión si cambiar la relación agua/cemento o mantener el asentamiento de 3 cm, y se optó por mantener el *slump* obtenido.

Considerando que el asentamiento de la mezcla patrón cambió, se debía mantener el cambio también en la mezcla experimental, para que ambas tuvieran ese punto de comparación, debido a esto al realizar la mezcla con agregado fino de origen volcánico, se buscó ese mismo asentamiento de 3 cm, para poder obtenerlo, hubo que modificar la relación agua/cemento agregando menos agua y disminuyendo la cantidad en 0,34 lt de agua libre, con esto se obtuvo el *slump* de 3 cm en ambas mezclas.

Este cambio en el *slump* debido a los factores mencionados es una de las principales razones por las cuales la resistencia a compresión de ambas mezclas se vio afectada, favoreciendo a una de ellas, pero perjudicando la otra.

7.3.2. Ensayo determinación de la densidad aparente, rendimiento y contenido de aire del concreto

El contenido de aire en la mezcla patrón fue de un 4,5 % y un peso unitario de 2 292,00 kg/m³, mientras que en la mezcla con arena volcánica el contenido de aire fue del 2,1 % con un peso unitario de 2 456,00 kg/m³, con estos resultados se puede observar que la mezcla patrón es menos densa debido a

que tiene una mayor cantidad de aire entre su composición aportándole así un menor peso, aunque las dos mezclas posean la misma cantidad de agregados y de cemento, variando por poco la cantidad de agua libre añadida, esta no es la principal razón en la diferencia del aire y del peso, sino que en sí el factor que manda en esta condición es la porosidad de los agregados finos utilizados, y se puede verificar analizando los valores de la densidad y densidad relativa de dichas arenas utilizadas, así como también el porcentaje de absorción de cada una.

De esto también se puede decir que la mezcla patrón tiene un rendimiento mayor siendo este de $0,30 \text{ m}^3$ y el rendimiento de la mezcla experimental es de $0,27 \text{ m}^3$, este cálculo se hizo en base a la norma NTG – 41017h5.

7.3.3. Ensayo medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado

Según el ACI 318 RSUS 14 la temperatura del concreto fresco debe mantenerse por encima de los $50 \text{ }^\circ\text{F}$ ($10 \text{ }^\circ\text{C}$), y en clima cálido limita la temperatura máxima del concreto a $95 \text{ }^\circ\text{F}$ ($35 \text{ }^\circ\text{C}$).

La temperatura registrada de ambas mezclas de concreto fue de $18,5 \text{ }^\circ\text{C}$, lo que quiere decir que la temperatura del concreto se encuentra dentro del rango aceptable para garantizar sus propiedades, manejabilidad y un fraguado en tiempo adecuado.

Esta temperatura influye también en el desempeño de la mezcla puesto que una temperatura muy alta puede producir presencia de fisuras por contracción plástica y un fraguado falso.

7.4. Concreto endurecido

Seguidamente, se presenta el análisis de resultados de los ensayos realizados al concreto endurecido:

7.4.1. Ensayo resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión se vio afectada a consecuencia de las propiedades y características de los agregados fino y grueso utilizados en la mezcla patrón y en la mezcla experimental.

La mezcla patrón no cumplió con la resistencia a compresión esperada en ninguna edad de ensayo mientras que la mezcla con agregado fino de origen volcánico superó la resistencia esperada en todas las edades.

A la edad de 3 días, la resistencia esperada por ambas mezclas debía ser del 50 % esto quiere decir que la resistencia teórica mínima era de 1 500 PSI, a la edad de 7 días se debía tener un 70 % de la resistencia, o sea 2 100 PSI y a la edad de 28 días se esperaba una resistencia del 100 % en las dos mezclas obteniendo 3 000 PSI.

Un parámetro importante es que si la resistencia a compresión a la edad de 3 días no cumple con lo esperado, es muy difícil que la cumpla en los siguientes días de ensayos, tomando esto en cuenta se pudo predecir que la mezcla patrón no iba a cumplir con la resistencia a compresión mínima esperada visto que a la edad de 3 días, únicamente obtuvo el 37,67 % del $f'c$ con un valor de 935 PSI, a la edad de 7 días, el porcentaje de resistencia obtenido fue del 34,52 % y un valor del $f'c$ de 1 375 PSI y finalmente a la edad de 28 días alcanzó el 73 % de la resistencia total esperada con un valor de 2190 PSI, estos son 810 PSI menos

de lo mínimo, debido a los ensayos realizados a los agregados, se sabe que estos valores son la consecuencia de la mala calidad de la arena de río utilizada en la mezcla patrón y también por la relación agua/cemento utilizada.

La mezcla con agregado fino de origen volcánico tuvo un comportamiento distinto, en vista que esta mezcla superó la resistencia a compresión esperada en todas las edades, a los 3 días de ensayo superó la resistencia en un 19,35 % con un valor de f'_c de 1 860 PSI, a la edad de 7 días se obtuvo un 14,46 % más de lo esperado, obteniendo 2 455 PSI, y a la edad de 28 días se obtuvo un 8,40 % más de la resistencia a compresión total esperada con un valor de 3 275 PSI. La resistencia a compresión pudo ser superada utilizando agregado fino de origen volcánico en vista de que esta arena tiene distintas propiedades físicas y mecánicas que la arena de río, las cuales han sido factores clave para ayudar a aumentar la resistencia tales como lo son el porcentaje de absorción habida cuenta de que gracias a esto se disminuyó la relación agua/cemento de la mezcla, también tiene menor contenido de materia orgánica gracias a su procedencia.

CONCLUSIONES

1. Se estableció que la arena volcánica tiene una densidad mayor que una arena de río y absorbe menos agua, esto fue un factor importante en cómo se vio afectado el concreto, teniendo una mejor trabajabilidad en estado fresco y aportando una mayor resistencia a la compresión, también se determinó que tiene un bajo contenido de materia orgánica que es favorable, ya que el arena volcánica utilizada no es arena contaminada y por lo tanto no son afectadas las propiedades propias, lo cual ayuda en la calidad del concreto.
2. La resistencia a compresión esperada a los 28 días de edad, era de 3 000 PSI para ambas mezclas y aunque fueron realizadas bajo las mismas condiciones, con un mismo tiempo de fraguado y ensayadas de la misma manera, se determinó que la resistencia de la mezcla patrón no llegó a la resistencia esperada en ninguna edad de ensayo, con un valor de $f'c = 2\ 190$ PSI a los 28 días, disminuyendo en un 27 % el $f'c$ esperado, mientras que la resistencia a compresión del concreto con agregado fino de origen volcánico superó la resistencia esperada en todas las edades de ensayo, con un valor de $f'c = 3\ 275$ PSI, a la edad de 28 días, aumentando en un 9 % el $f'c$ esperado. Se puede concluir que, bajo estas condiciones de ensayo, el concreto con agregado fino de origen volcánico tiene una mayor resistencia a la compresión en todas las edades que un concreto con arena de río normal.

3. El asentamiento o *slump* en ambas mezclas de concreto fue de 3 cm, debido a que la relación agua/cemento utilizado al hacer las mezclas, tuvo una buena trabajabilidad y se decidió mantener el mismo asentamiento para la mezcla patrón y para la experimental, para poder tener este punto de similitud, y con esto se pudo garantizar una correcta fluidez y aplicación de la mezcla en los moldes para ser encofrado. Un factor muy importante fue la relación agua/cemento de cada mezcla, ya que, de esto, se derivó la gran diferencia en el resultado de la resistencia a compresión entre ellas.

4. Uno de los factores importantes para la buena calidad del concreto, son las características y propiedades de los agregados utilizados en la mezcla, debido a esto, las mezclas de concreto en estado fresco y endurecido se vieron afectadas, principalmente, la resistencia a compresión. Se puede decir que las propiedades del agregado fino utilizado en cada una de las mezclas, fue el factor por el cual tuvieron un comportamiento diferente, dado que tanto el cemento, agregado grueso y agua, fue el mismo para ambas mezclas. Dicho esto, se concluye que la arena de origen volcánico obtenida de la aldea “El Rodeo” Escuintla, cumple para ser utilizada como agregado fino en mezclas de concreto.

RECOMENDACIONES

1. Usar la arena volcánica obtenida de la aldea “El Rodeo” Escuintla, considerando que posee características y propiedades que aportan grandes beneficios al concreto fresco y endurecido, beneficiando la calidad del concreto.
2. Continuar estudiando el concreto con agregado fino de origen volcánico ya que se pueden encontrar más beneficios y campos específicos para su uso, en vista de que bajo estas condiciones de ensayo el comportamiento del concreto endurecido con este agregado fino fue favorecedor.
3. Estudiar el comportamiento estructural del concreto con agregado fino de origen volcánico, es recomendable debido a que los resultados obtenidos en esta investigación son un antecedente positivo con respecto al comportamiento que se puede esperar de este concreto.
4. Calificar la arena volcánica como un agregado que posee características y propiedades aptas para ser utilizada en la mezcla de concreto y que cumple con las normas NTG para el agregado fino.

BIBLIOGRAFÍA

1. COGUANOR. *NTG - 41006 Terminología referente al concreto y agregados para concreto*. Guatemala: Ministerio de Economía, 2015. 15 p.
2. _____ - 41007. *Agregados para concreto. Especificaciones*. Guatemala: Ministerio de Economía, 2015. 24 p.
3. _____ - 41010h1. *Análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y grueso*. Guatemala: Ministerio de Economía, 2016. 17 p.
4. _____ - 41010h2. *Determinación de la densidad aparente (masa unitaria) e índice de vacíos en los agregados*. Guatemala: Ministerio de Economía, 2015. 12 p.
5. _____ - 41010h20. *Determinación de la resistencia al desgaste, del agregado grueso de tamaño hasta de 37.5 mm (1 ½ pulg), por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles*. Guatemala: Ministerio de Economía, 2014. 12 p.
6. _____ - 41010h3. *Determinación por lavado del material que pasa por el tamiz 75 µm (No. 200) en agregados minerales*. Guatemala: Ministerio de Economía, 2016. 13 p.

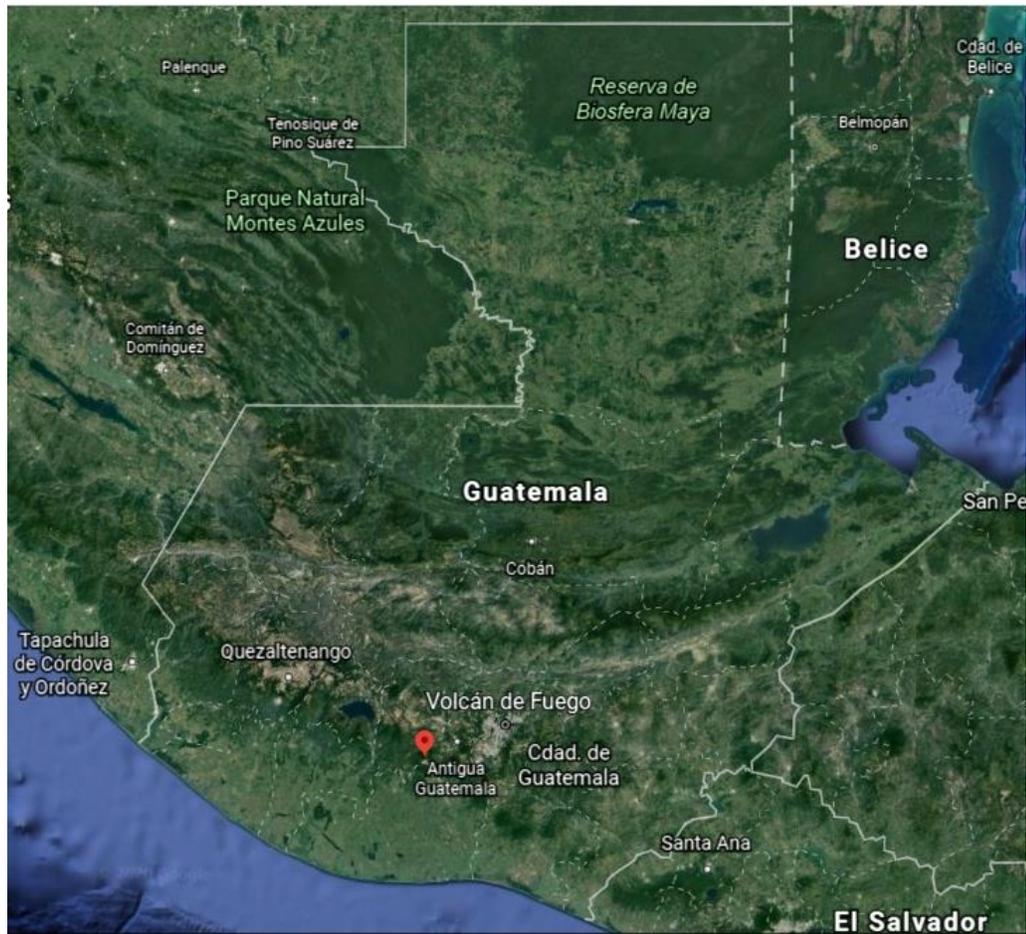
7. _____ - 41010h4. *Determinación de materia orgánica en los agregados finos para concreto*. Guatemala: Ministerio de Economía, 2016. 9 p.
8. _____ - 41010h6. *Determinación de la estabilidad a la disgregación de los agregados mediante el uso del sulfato de sodio o del sulfato de magnesio*. Guatemala: Ministerio de Economía, 2012. 15 p.
9. _____ - 41010h8. *Determinación de la densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso*. Guatemala: Ministerio de Economía, 2016. 19 p.
10. _____ - 41010h9. *Determinación de la densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino*. Guatemala: Ministerio de Economía, 2016. 20 p.
11. _____ - 41017h1. *Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*. Guatemala: Ministerio de Economía, 2017. 23 p.
12. _____ - 41017h4. *Determinación del asentamiento del concreto hidráulico*. Guatemala: Ministerio de Economía, 2015. 9 p.
13. _____ - 41017h5 *Determinación de la densidad aparente (masa unitaria), rendimiento (volumen de concreto producido) y contenido de aire (gravimétrico) del concreto*. Guatemala: Ministerio de Economía, 2015. 9 p.

14. _____ - 41017h7. *Determinación del contenido de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método de presión*. Guatemala: Ministerio de Economía, 2015. 23 p.
15. _____ - 41053. *Medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado*. Guatemala: Ministerio de Economía, 2010. 5 p.
16. Departamento de Mecánica Estructural. *Densidad total (peso unitario) y vacíos en agregados para concreto*. El Salvador: UCA, 2014. 20 p.
17. INSIVUMEH. *Estructura interna de la tierra* [en línea]. <<http://www.insivumeh.gob.gt/geofisica/programa.htm>>. [Consulta: mayo de 2020].
18. _____ *Volcanes*. [en línea]. <<http://www.insivumeh.gob.gt/geofisica/programa.htm#CLASIFICACION%20DE%20LOS%20VOLCANES>>. [Consulta: mayo de 2020].
19. KOSMATKA, Steven; KERKHOFF, Beatrix; PANARESE, William; TANESI, Jussara. *Diseño y control de mezclas de concreto EB201*. EE.UU.: Portland Cement Institute, 2004. 448 p.
20. TARBUCK, Edward; LUTGENS, Frederick. *Ciencias de la tierra: una introducción a la geología física*. 6ª ed. Madrid, España: Prentice Hall, 2001. 540 p.

21. YEPES PIQUERAS, Víctor. *Fabricación del cemento*. [en línea]. <<https://victoryepes.blogs.upv.es/2015/05/23/fabricacion-del-cemento/>>. [Consulta: mayo de 2020].

ANEXOS

Anexo 1. Ubicación volcán de fuego



Fuente: Google earth. *Ubicación.*

<https://earth.google.com/web/search/volcan+de+fuego/@14.47468965,-90.8806346,3794.05115193a,5501.43282802d,35y,0h,45t,0r/data=CnoaUBJKCiUweDg1ODkxNzg5MTI2NmMyYzM6MHgzNjFIN2NmZjdhMzQwZjYwGad7-10K8yxAIXeuOVFcuFbAKg92b2xjYW4gZGUgZnVIZ28YAiABliYKJAI7Uer1nnMwQBGqjhoyq8UqQBITbHVafPJVwCGYeovImBRXwCgC>. Consulta: 3 de noviembre de 2020.

Anexo 2. Diseño teórico de mezcla de concreto 1



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



INFORME DE DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLA DE CONCRETO

INFORME SACM - 007/21
HOJA 1/1

No. 18244

O.T. No. 40664

INTERESADO: Lucía Alejandra Castillo Morataya, Registro académico: 2015 46783.
Trabajo de graduación: "Estudio comparativo de la resistencia a la compresión en mezcla de concreto elaborada con agregado fino de origen volcánico obtenido de la aldea "El Rodeo" Escuintla".
PROYECTO:
DIRECCIÓN: Ciudad de Guatemala.
RECEPCIÓN DE MUESTRA: 25 de enero de 2021
EMISIÓN DE INFORME: 2 de febrero de 2021

1. GENERALIDADES

- 1.1 El interesado proporciono el material y solicito a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregados fino y agregado grueso, para realizar un diseño teórico de mezcla de 3 000 psi (211 kg/cm²) con Cementos Progreso, UG 4 060 psi.

2. CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

- 2.1 Análisis de agregado fino.
2.2 Análisis de agregado grueso.

INFORME SACM - 004/21
INFORME SACM - 005/21

3. DISEÑO DE MEZCLA

- 3.1 Resistencia Nominal 211 kg/cm²
3.2 Resistencia Promedio Requerida 246 kg/cm²
3.3 Relación Agua/Cemento 0,622
3.4 Asentamiento: 8 a 10 cm (3 a 4 ")
3.5 Datos de la Mezcla:

CONCRETO NORMAL F'c = 246 kg/cm ²			
MATERIALES	PROPORCIÓN EN PESO	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (kg/m ³)
CEMENTO	1,00	1 SACO	322,00
ARENA	2,60	84,40	826,00
PIEDRÍN / GRAVA	3,30	98,10	1.052,00
AGUA LIBRE	0,622	26,44	200,00

4. RECOMENDACIONES

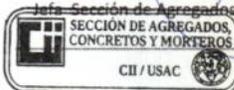
- 4.1 Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros de 6" de diámetro y 12" de altura, para su control de resistencia, con el ensayo a compresión, el cual se realiza en el CII/USAC.
4.2 El diseño de mezcla esta propuesto para agregados en condición seco-saturados, debido a las condiciones de obra, se deberá corregir por humedad.
4.3 Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el ACI 318.
4.4 Utilizar aditivo, que mejore las condiciones del diseño de mezcla.

Atentamente,

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

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 Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 3. Diseño teórico de mezcla de concreto 2



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



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

INFORME DE DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLA DE CONCRETO

INFORME SACM - 006/21

No. 18243

HOJA 1/1

O.T. No. 40664

INTERESADO: Lucía Alejandra Castillo Morataya, Registro académico: 2015 46783.
Trabajo de graduación: "Estudio comparativo de la resistencia a la compresión en mezcla de concreto elaborada con agregado fino de origen volcánico obtenido de la aldea "El Rodeo" Escuintla".
PROYECTO:
DIRECCIÓN: Ciudad de Guatemala.
RECEPCIÓN DE MUESTRA: 25 de enero de 2021
EMISIÓN DE INFORME: 2 de febrero de 2021

1. GENERALIDADES

1.1 El interesado proporciono el material y solicito a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregados fino y agregado grueso, para realizar un diseño teórico de mezcla de 3 000 psi (211 kg/cm²) con Cementos Progreso, UG 4 060 psi.

2. CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

2.1 Análisis de agregado fino.
2.2 Análisis de agregado grueso.

INFORME SACM - 003/21
INFORME SACM - 005/21

3. DISEÑO DE MEZCLA

3.1 Resistencia Nominal 211 kg/cm²
3.2 Resistencia Promedio Requerida 251 kg/cm²
3.3 Relación Agua/Cemento 0,614
3.4 Asentamiento: 8 a 10 cm (3 a 4")
3.5 Datos de la Mezcla:

CONCRETO NORMAL f'c = 251 kg/cm ²			
MATERIALES	PROPORCIÓN EN PESO	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (kg/m ³)
CEMENTO	1,00	1 SACO	326,00
ARENA	2,40	60,70	781,00
PIEDRÍN / GRAVA	3,10	92,10	993,00
AGUA LIBRE	0,614	26,10	200,00

4. RECOMENDACIONES

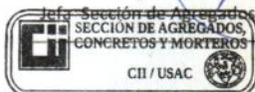
4.1 Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros de 6" de diámetro y 12" de altura, para su control de resistencia, con el ensayo a compresión, el cual se realiza en el CII/USAC.
4.2 El diseño de mezcla esta propuesto para agregados en condición seco-saturados, debido a las condiciones de obra, se deberá corregir por humedad.
4.3 Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el ACI 318.
4.4 Utilizar aditivo, que mejore las condiciones del diseño de mezcla.

Atentamente,

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

Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Vo.Bo.
Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC-
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Anexo 4. Análisis completo de agregado grueso para concreto



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



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

ANÁLISIS COMPLETO DE AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO

NORMA NTG 41007 (ASTM C-33)

No. 18242

O.T. No. 40664

INFORME SACM - 005/21

HOJA 1/1

INTERESADO: Lucía Alejandra Castillo Morataya, Registro académico: 2015 46783

PROYECTO: Trabajo de graduación: "Estudio comparativo de la resistencia a la compresión en mezcla de concreto elaborada con agregado fino de origen volcánico obtenido de la Aldea "El Rodeo" Escuintla."

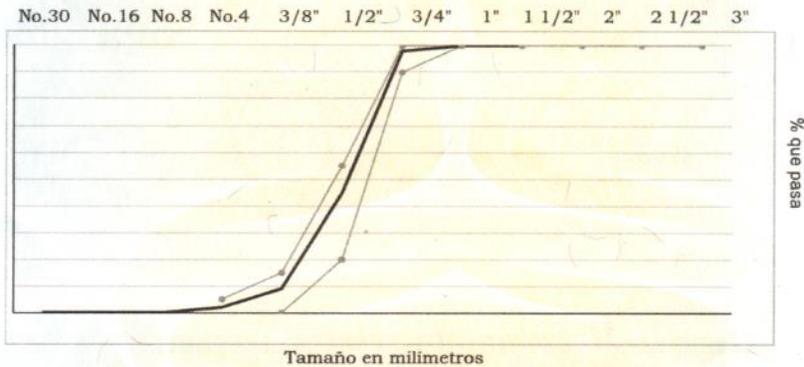
DIRECCIÓN: Ciudad de Guatemala

RECEPCIÓN DE MUESTRA: 25 de enero de 2021.

EMISIÓN DE INFORME: 2 de febrero de 2021.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

Densidad Relativa (sss)	2,75	Pasa Tamiz # 200 (%)	0,40
Densidad (sss) (kg/m ³)	2.740,00	Porcentaje de Vacíos, Compactado (%)	43,00
Masa Unitaria, Compactada (kg/m ³)	1.560,00	Porcentaje de Vacíos, Suelto (%)	48,00
Masa Unitaria, Suelta (kg/m ³)	1.430,00	Modulo de Finura	6,91
Porcentaje de Absorción (%)	1,00	Retenido Tamiz 6,35 (%)	1,00



Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16
% Que pasa	100,0	100,00	98,00	45,00	9,00	2,00	0,00	0,00

OBSERVACIONES:

- Muestra proporcionada por el interesado.
- Tamiz # 200, procedimiento A, lavado con agua corriente.

ATENTAMENTE,

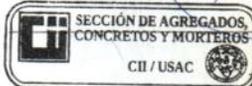
Inga. Dilma Yanel Mejicanos Jol

Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales.
Directora CII/USAC

MB/BC/ERM/LL



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC-
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 5. Abrasión por máquina de los ángeles



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



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

INFORME DE ENSAYO DE ABRASIÓN POR MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

NORMA NTG 41010 h 20 (ASTM C-131)

No. 18246

O.T. No. 40664

INFORME SACM - 002/21

HOJA 1/1

INTERESADO:

Lucia Alejandra Castillo Morataya, Registro académico: 2015 46783

PROYECTO:

Trabajo de graduación: "Estudio comparativo de la resistencia a la compresión en mezcla de concreto elaborada con agregado fino de origen volcánico obtenido de la Aldea "El Rodeo" Escuintla".

DIRECCIÓN:

Ciudad de Guatemala.

RECEPCIÓN DE MUESTRA:

25 de enero de 2021.

EMISIÓN DE INFORME:

2 de febrero de 2021

REFERENCIAS	MUESTRA
1. Graduación	" B "
2. Porcentaje de desgaste	32,00%

OBSERVACIONES:

- Muestra proporcionada por el interesado.
- Muestra de material : Agregado grueso.
- La resistencia a la abrasión del agregado grueso para concreto, debe tener un porcentaje de desgaste máximo admisible de 50%, según norma COGUANOR NTG 41007 (ASTM C-33).

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

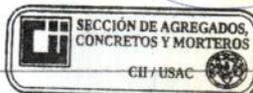
ATENTAMENTE,

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

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC

MBBE/CIER/MRL



FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC-
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Anexo 6. Análisis completo de agregado fino para concreto



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



INFORME DE ANÁLISIS COMPLETO DE AGREGADO FINO PARA CONCRETO

NORMA NTG 41007 (ASTM C-33)

No. 18241

O.T. No. 40664

INFORME SACM- 004/21

HOJA 1/1

INTERESADO:

Lucia Alejandra Castillo Morataya, Registro académico: 2015 46783

PROYECTO:

Trabajo de graduación: "Estudio comparativo de la resistencia a la compresión en mezcla de concreto elaborada con agregado fino de origen volcánico obtenido de la Aldea "El Rodeo" Escuintla."

DIRECCIÓN:

Ciudad de Guatemala

RECEPCIÓN DE MUESTRA:

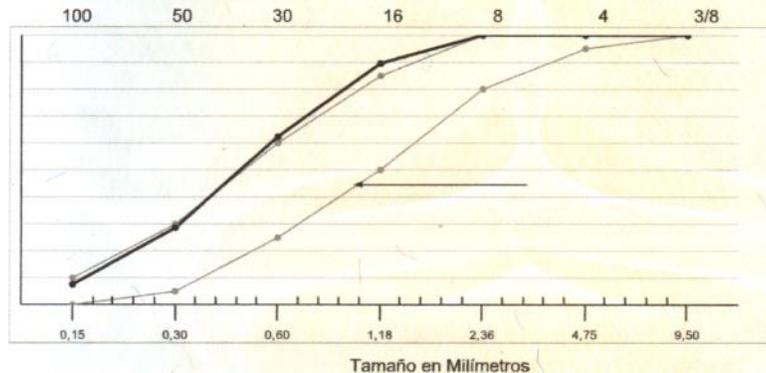
25 de enero de 2021.

EMISIÓN DE INFORME:

2 de febrero de 2021

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

Densidad Relativa (sss)	2,53	Porcentaje de Absorción (%)	2,30
Densidad (sss) (kg/m ³)	2.520,00	Contenido de Materia Orgánica	3
Masa Unitaria, Compactada (kg/m ³)	1.380,00	Pasa Tamiz # 200 (%)	1,60
Masa Unitaria, Suelta (kg/m ³)	1.310,00	Retenido Tamiz 6,35 (%)	0,00
Porcentaje de Vacíos, Compactado (%)	46,00	Modulo de Finura	2,12
Porcentaje de Vacíos, Suelto (%)	48,00		



Tamiz No.	9,50	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,15
% Que pasa	100,00	100,00	100,00	89,60	62,30	28,70	7,60

OBSERVACIONES:

- Muestra proporcionada por el interesado
- Tamiz # 200, procedimiento A, lavado con agua potable.
- Contenido de materia orgánica máximo permisible No. 3

El presente informe representa únicamente la muestra identificada en el mismo.

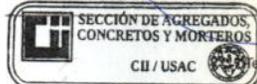
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

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

Inga. Telma Marcela Cano Morales.
Directora CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC-
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86952
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 7. **Análisis completo de agregado fino de origen volcánico para concreto**



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



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

INFORME DE ANÁLISIS COMPLETO DE AGREGADO FINO PARA CONCRETO

NORMA NTG 41007 (ASTM C-33)

No. 18240

O.T. No. 40664

INFORME SACM- 003/21

HOJA 1/1

INTERESADO:

Lucia Alejandra Castillo Morataya, Registro académico: 2015 46783

PROYECTO:

Trabajo de graduación: "Estudio comparativo de la resistencia a la compresión en mezcla de concreto elaborada con agregado fino de origen volcánico obtenido de la Aldea "El Rodeo" Escuintla."

DIRECCIÓN:

Ciudad de Guatemala

RECEPCIÓN DE MUESTRA:

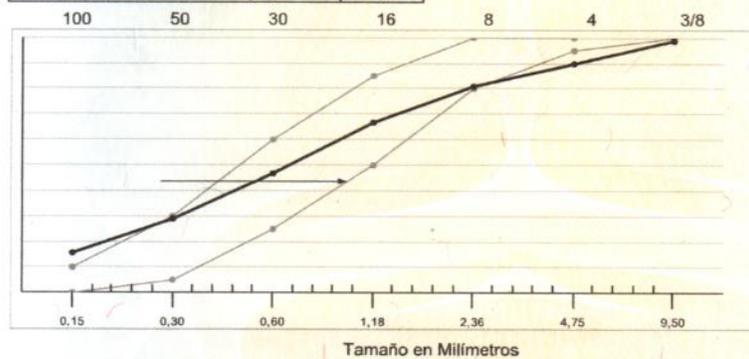
25 de enero de 2021.

EMISIÓN DE INFORME:

2 de febrero de 2021

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

Densidad Relativa (sss)	2,76	Porcentaje de Absorción (%)	0,30
Densidad (sss) (kg/m ³)	2.750,00	Contenido de Materia Orgánica	1
Masa Unitaria, Compactada (kg/m ³)	1.880,00	Pasa Tamiz # 200 (%)	7,90
Masa Unitaria, Suelta (kg/m ³)	1.680,00	Retenido Tamiz 6,35 (%)	6,50
Porcentaje de Vacíos, Compactado (%)	32,00	Modulo de Finura	2,72
Porcentaje de Vacíos, Suelto (%)	39,00		



Tamiz No.	9,50	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,15
% Que pasa	98,90	89,80	80,90	66,70	46,70	29,00	15,70

OBSERVACIONES:

- Muestra proporcionada por el interesado
- Tamiz # 200, procedimiento A; lavado con agua potable.
- Contenido de materia orgánica máxima permisible No. 3
- Muestra identificada como: Arena Volcánica.

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

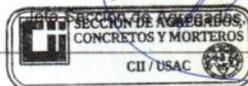
ATENTAMENTE,

Inga. Digna Yaret Méjicanos Jol

Inga. Telma Marcela Cano Morales.

CONCRETOS Y MORTEROS

DIRECTORA CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC-
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 8. **Determinación de la estabilidad a la disgregación del agregado fino de origen volcánico mediante el uso del sulfato de sodio**



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



**INFORME DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD A LA DISGREGACIÓN
DEL AGREGADO FINO MEDIANTE EL USO DEL SULFATO DE SODIO**

NORMA NTG 41010 h6 (ASTM C-88)

No. 18256

O.T. No. 40664

INFORME SACM - 012 /2021

HOJA 1/1

INTERESADO: Lucía Alejandra Castillo Morataya

PROYECTO: Trabajo de graduación titulado: Estudio comparativo de resistencia a la compresión en mezcla de concreto elaborada con agregado fino de origen volcánico obtenido de la aldea "El Rodeo" Escuintla.

DIRECCIÓN: Ciudad de Guatemala

RECEPCIÓN DE MUESTRA: 25 de enero de 2021

EMISIÓN DE INFORME: 19 de febrero de 2021

TAMAÑOS		Graduación por fracción	Peso antes de ensayo (g)	Peso después de ensayo (g)	% de Desgaste	% Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
No. 100 (149 mm)	FONDO	15.70	-----	-----	-----	-----
No. 50 (297 mm)	No. 100 (149 mm)	13.30	-----	-----	0.80	0.1064
No. 30 (595 mm)	No. 50 (297 mm)	17.70	100.00	99.20	0.80	0.1416
No. 16 (1.19 mm)	No. 30 (595 mm)	20.00	100.00	98.80	1.20	0.2400
No. 8 (2.38 mm)	No. 16 (1.19 mm)	14.20	100.00	96.70	3.30	0.4686
No. 4 (4.76 mm)	No. 8 (2.38 mm)	8.90	100.00	94.10	5.90	0.5251
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	9.10	100.00	93.70	6.30	0.5733
TOTALES		98.90	-----	-----	-----	2.0000

OBSERVACIONES:

- a) Muestra proporcionada por el interesado.
- b) Solución utilizada: Sulfato de sodio.
- c) Muestra de material: Agregado fino, de origen volcánico.
- d) Resistencia a disgregación a los sulfatos, debe tener una pérdida promedio ponderada no mayor de 10%, según Norma COGUANOR NTG 41007 (ASTM C-33).

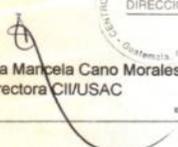
El presente informe representa únicamente las muestras identificadas en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENTAMENTE,



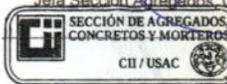
Inga. Dilma Yanet Mejicanos, Jof
Jefa Sección Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.



Inga. Telma Marcela Cano Morales
Directora CII/USAC





FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC-
Edificio Emilio Beltránena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121, Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 9. Resistencia a compresión para concreto con mezcla patrón



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



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)

No. 18262

O.T. No. 40664

INFORME SACM - 020/2021

HOJA 1/1

INTERESADO: Lucía Alejandra Castillo Morataya, Registro academico: 2015 46783

PROYECTO: Trabajo de graduación: "Estudio comparativo de la resistencia a la compresion en mezcla de concreto elaborada con agregado fino de origen volcanico obtenido de la aldea "El Rodeo" Escuintla"

DIRECCIÓN: Ciudad de Guatemala.

RECEPCIÓN DE MUESTRA: 25 de enero de 2021

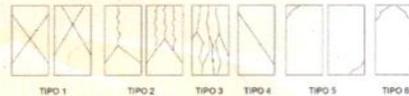
EMISIÓN DE INFORME: 5 de marzo de 2021

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA ESTRUCTURA	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²	TIPO DE FRACTURA
1	3-2	05/02/2021	08/02/2021	3	Control de calidad de diseño de concreto	12,465	15,135	30,523	26 000	6,40	930	6
2	4-2	05/02/2021	08/02/2021	3		12,430	15,200	30,487	26 500	6,50	940	2
3	8-2	05/02/2021	12/02/2021	7		12,560	15,210	30,547	40 000	9,80	1 420	6
4	9-2	05/02/2021	12/02/2021	7		12,590	15,200	30,450	37 500	9,20	1 330	6
5	67-11	05/02/2021	05/03/2021	28		12,585	15,225	30,503	62 500	15,30	2 220	6
6	68-11	05/02/2021	05/03/2021	28		12,690	15,180	30,533	60 500	14,90	2 160	6

OBSERVACIONES :

- Diseño de mezcla 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 NTG-41067 (ASTM C-1231).
- Asentamiento de mezcla: 30,0 mm. (1 ¼")
- Peso unitario: 2 292,0 Kg/m³.
- Contenido de aire, medidor tipo B: 4,5 %.
- Temperatura: 18,5 °C.
- Proporción utilizada: 1 : 2,57 : 3,27 : 0,736
- Agregado fino utilizado para la mezcla identificado como arena amarilla.

BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA



El presente informe representa únicamente los resultados identificados en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENTAMENTE,

Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Sección de Agregados, Concretos y Morteros
CII/USAC

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC-
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 10. Resistencia a compresión para concreto con arena volcánica



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



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

**INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO
NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)**

No. 18263

O.T. No. 40664

INFORME SACM - 021/2021
HOJA 1/1

INTERESADO: Lucia Alejandra Castillo Morataya, Registro academico: 2015 46783
PROYECTO: Trabajo de graduación: "Estudio comparativo de la resistencia a la compresion en mezcla de concreto elaborada con agregado fino de origen volcanico obtenido de la aldea "El Rodeo" Escuintla"
DIRECCIÓN: Ciudad de Guatemala.
RECEPCIÓN DE MUESTRA: 25 de enero de 2021
EMISIÓN DE INFORME: 05 de marzo de 2021

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA ESTRUCTURA	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/in ²	TIPO DE FRACTURA
1	1-2	05/02/2021	08/02/2021	3	Control de calidad de diseño de concreto	13,270	15,235	30,203	55 000	13,40	1 940	6
2	2-2	05/02/2021	08/02/2021	3		13,305	15,145	30,387	50 000	12,30	1 780	2
3	6-2	05/02/2021	12/02/2021	7		13,550	15,125	30,667	72 500	17,90	2 600	6
4	7-2	05/02/2021	12/02/2021	7		13,440	15,200	30,517	65 000	15,90	2 310	6
5	2-3	05/02/2021	05/03/2021	28		13,445	15,265	30,327	88 000	21,40	3 110	6
6	3-3	05/02/2021	05/03/2021	28		13,400	15,160	30,363	96 000	23,70	3 440	6

OBSERVACIONES :

- Diseño de mezcla 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 NTG-41067 (ASTM C-1231).
- Asentamiento de mezcla: 30,0 mm. (1 ¼")
- Peso unitario: 2 456,0 Kg/m³.
- Contenido de aire, medidor tipo B: 2,1 %.
- Temperatura: 18,5 °C.
- Proporción utilizada: 1 : 2,40 : 3,05 : 0,507
- Agregado fino utilizado para la mezcla identificado como arena volcanica.

BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA



El presente informe representa únicamente los resultados identificados en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENTAMENTE,

Inga. Dilma Yaret Mejicanos Jol
Jefe de Laboratorio de Agregados, Concretos y Morteros
CII / USAC

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC-
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

