



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

UTILIZACIÓN DE DESECHO DE VIDRIO COMO ÁRIDO GRUESO PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO

Carlos Eduardo Suque Soc

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, septiembre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**UTILIZACIÓN DE DESECHO DE VIDRIO COMO ÁRIDO GRUESO PARA LA
ELABORACIÓN DE CONCRETO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

CARLOS EDUARDO SUQUE SOC

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. Claudio César Castañón Contreras
EXAMINADOR	Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

UTILIZACIÓN DE DESECHO DE VIDRIO COMO ÁRIDO GRUESO PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 15 de abril de 2015.

Carlos Eduardo Suque Soc



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



Guatemala, 7 de julio de 2016

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

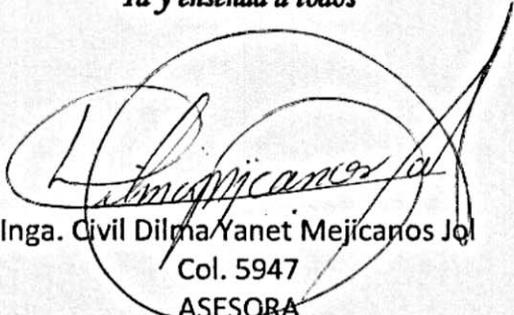
Ingeniero Ordoñez

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación: **UTILIZACIÓN DE DESECHO DE VIDRIO COMO ÁRIDO GRUESO PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO**, elaborado con el estudiante universitario Carlos Eduardo Suque Soc, quien contó con la asesoría de la suscrita.

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

Atentamente,

"Id y enseñad a todos"


Inga. Civil Dilma Yanet Mejicanos Jol
Col. 5947
ASESORA



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

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

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
16 de agosto de 2016

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

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **UTILIZACIÓN DE DESECHO DE VIDRIO COMO ÁRIDO GRUESO PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Carlos Eduardo Suque Soc quien contó con la asesoría de la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑANZA A TODOS

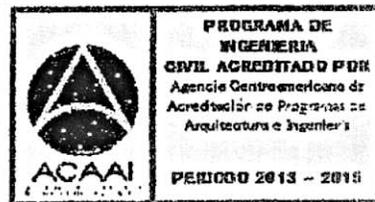
Ing. Civil José Gabriel Ordóñez Morales
Asesor y Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/mrrm.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





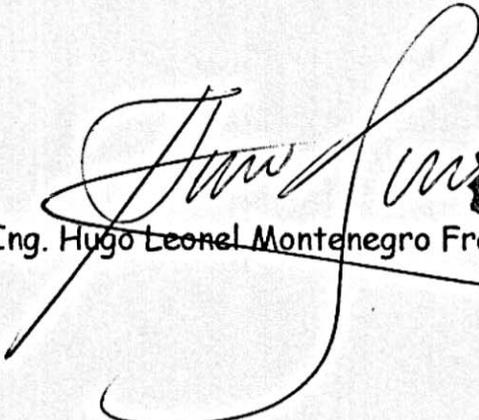
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

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

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Carlos Eduardo Suque Soc , titulado **UTILIZACIÓN DE DESECHO DE VIDRIO COMO ÁRIDO GRUESO PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

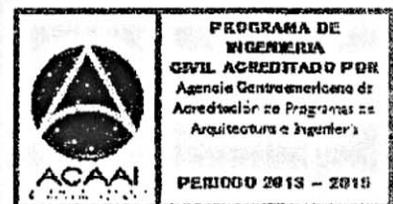

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, septiembre 2016

/mrrm.

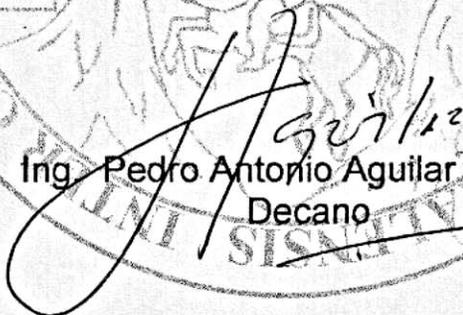
Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **UTILIZACIÓN DE DESECHO DE VIDRIO COMO ARIDO GRUESO PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO**, presentado por el estudiante universitario: **Carlos Eduardo Suque Soc**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, septiembre de 2016

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Fuente de toda mi sabiduría y guía importante en mi vida.
- Mis padres** Ricardo Suque Mixtun y Aura Marina Soc Pérez, gracias por su amor y apoyo incondicional.
- Mis tíos** José y Odilia Soc Pérez, por sus buenos consejos y siempre apoyarme.
- Mis hermanos** Eddy, Geovanny, Tony y Wilson Suque Soc, por su cariño y siempre apoyarme.
- Mi abuela** Por su apoyo, buenos consejos y cariño.
- Mi primo** Nelson René Soc, (q.e.p.d.), quien siempre me dijo que siguiera adelante y que cumpliera mi meta.

AGRADECIMIENTOS A:

- | | |
|--|---|
| Inga. Dilma Yanet
Mejicanos Jol | Por su valiosa asesoría y colaboración en la realización de este trabajo de graduación. |
| Universidad de San
Carlos de Guatemala | Por mi formación profesional. |
| Facultad de Ingeniería | Por haberme brindado el conocimiento y aptitud profesional. |
| Mis amigos de la
Facultad de Ingeniería | Por su amistad y consejos brindados en el período de mi formación profesional. |

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. VIDRIO.....	1
1.1. Historia.....	1
1.2. Composición.....	4
1.3. Proceso de fabricación.....	5
1.4. Características del vidrio.....	7
1.4.1. Características físicas.....	7
1.4.1.1. Color.....	7
1.4.1.2. Textura.....	8
1.4.1.3. Peso.....	8
1.4.1.4. Maleabilidad.....	8
1.4.2. Propiedades mecánicas.....	9
1.4.2.1. Flexión.....	9
1.4.2.2. Impacto.....	9
1.4.2.3. Dureza.....	10
1.4.3. Características químicas.....	10
1.4.3.1. Resistencia al agua.....	10
1.4.3.2. Resistencia a los ácidos.....	10

1.4.3.3.	Resistencia a los agentes atmosféricos	11
1.5.	Proceso de transformación.....	11
1.6.	Tipos de vidrios	13
1.7.	Problemas ambientales derivados de su mala disposición.....	14
1.8.	Formas de reciclaje actuales.....	15
1.9.	Manejo actual de residuo a nivel nacional	17
1.10.	Tratamiento, infraestructura y capacidad actual en el país.....	18
1.11.	Ciclo de vida del residuo a nivel nacional (diagrama)	19
1.12.	Normativa aplicable.....	22
1.13.	Normas aplicables para la caracterización de los agregados ..	31
1.13.1.	Norma Coguanor NTG 41010h1 (ASTM C-136):análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y grueso	31
1.13.2.	Norma Coguanor NTG 41010h2 (ASTM C-29): determinación de la densidad aparente (masa unitaria) e índice de vacíos en los agregados.....	32
1.13.3.	Norma Coguanor NTG 41010h8 (ASTM C-127): determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso	33
1.13.4.	Norma Coguanor NTG 41010h9 (ASTM C-128): determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agua del agregado fino	34
1.13.5.	Norma Coguanor NTG 41010h4 (ASTM C-40): determinación de materia orgánica en los agregados finos para concreto	34
1.14.	Ensayos de laboratorio.....	35

1.14.1.	Norma Coguanor NTG 41052 (ASTM C-143/08): determinación del asentamiento del concreto hidráulico	35
1.14.2.	Norma Coguanor NTG 41017h5 (ASTM C-138): determinación de la densidad aparente (masa unitaria), rendimiento (volumen de concreto producido) y contenido de aire (gravimétrico) del concreto	36
1.14.3.	Norma Coguanor NTG 41053 (ASTM C-1064): medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado.....	37
1.14.4.	Norma Coguanor NTG 41017h7 (ASTM C-231): determinación del contenido de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método volumétrico	38
1.14.5.	Norma Coguanor NTG 41017h1 (ASTM C-39): determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto	38
2.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	41
2.1.	Obtención del vidrio	41
2.2.	Caracterización de los agregados.....	42
2.2.1.	Agregado grueso (vidrio).....	43
2.2.1.1.	Granulometría	44
2.2.1.2.	Masa unitaria.....	44
2.2.1.3.	Gravedad específica	45
2.2.1.4.	Impacto	45
2.2.1.5.	Dureza (escala de Mohs)	47
2.3.	Diseño del concreto	48

2.3.1.	Equipo de trabajo	49
2.3.2.	Proceso de fundición	50
2.3.2.1.	Proporción de los materiales.....	50
2.3.2.2.	Diseño práctico de mezcla de concreto.....	52
2.3.2.3.	Elaboración de los cilindros	53
2.3.2.4.	Desencofrado	54
2.3.2.5.	Curado.....	55
2.4.	Ensayos de laboratorio.....	56
2.4.1.	Concreto fresco	56
2.4.1.1.	Asentamiento.....	57
2.4.1.2.	Peso unitario.....	58
2.4.1.3.	Temperatura	58
2.4.1.4.	Porcentaje de vacíos	59
2.4.2.	Concreto endurecido	61
2.4.2.1.	Contracción en cilindros.....	61
2.4.2.2.	Resistencia a la compresión	61
3.	TABULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	63
3.1.	Ensayos físicos del agregado fino	63
3.2.	Ensayos físicos del vidrio	64
3.3.	Datos del diseño de mezcla	65
3.4.	Cálculos realizados	69
3.4.1.	Peso específico	69
3.4.2.	Porcentaje de vacíos	71
3.4.3.	Resistencia a la compresión	71
3.5.	Análisis de resultados (con vidrio y agregado grueso).....	72
3.5.1.	Ensayo de asentamiento	72
3.5.2.	Ensayo de peso específico	72

3.5.3.	Ensayo de medición de la temperatura	73
3.5.4.	Ensayo de porcentaje de vacíos	73
3.5.5.	Ensayo de resistencia a compresión.....	74
3.6.	Resumen de resultados	75
3.7.	Interpretación de resultados	80
3.8.	Tipos de falla en los especímenes ensayados.....	82
3.9.	Efectos del vidrio en el concreto	86
CONCLUSIONES		89
RECOMENDACIONES.....		91
BIBLIOGRAFÍA.....		93
ANEXOS		97

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Descripción del proceso de fabricación	6
2.	Diagrama de vida del vidrio	21
3.	Molde para ensayo del asentamiento	36
4.	Medición de probetas a ensayar	46
5.	Falla por fatiga en probeta	46
6.	Gráfica de valores de dureza Mohs	47
7.	Proceso de fundición	53
8.	Moldes para la elaboración de los cilindros	54
9.	Cilindros desencofrados	55
10.	Curado de las probetas	56
11.	Medición del asentamiento	57
12.	Medición de la temperatura	59
13.	Medición de vacíos	60
14.	Diagrama esquemático, medidor tipo B	60
15.	Falla cono y clivaje en cilindro	62
16.	Gráfica de esfuerzo a compresión en cilindros	79
17.	Falla en cilindro con porcentaje de vidrio	82
18.	Falla columnar en cilindro con 50% de vidrio	83
19.	Falla de cono y clivaje	83
20.	Falla de corte en cilindro con 25% de vidrio	85
21.	Falla del tipo columnar en cilindro de mezcla patrón	86
22.	Cilindros almacenados	87

TABLAS

I.	Colorantes del vidrio	7
II.	Composición de residuos sólidos domiciliarios (vidrio)	18
III.	Capacidad del recipiente para determinar la masa unitaria.....	32
IV.	Masa mínima respecto al tamaño máximo nominal	33
V.	Capacidad de los recipientes de medida	37
VI.	Diámetro máximo de especímenes de ensayo.	39
VII.	Valores de dureza de Mohs	48
VIII.	Pesos de materiales a utilizar en las mezclas con vidrio.....	51
IX.	Características físicas del agregado fino	63
X.	Granulometría del agregado fino	63
XI.	Características físicas del agregado grueso	64
XII.	Granulometría del agregado grueso.	64
XIII.	Características físicas del vidrio.....	65
XIV.	Granulometría del vidrio.....	65
XV.	Parámetros medidos en las mezclas.	75
XVI.	Esfuerzos en mezcla patrón	76
XVII.	Esfuerzos en mezcla con 25% de vidrio	76
XVIII.	Esfuerzos en mezcla con 40% de vidrio	77
XIX.	Esfuerzos en mezcla con 50% de vidrio	77
XX.	Esfuerzos en mezcla con 60% de vidrio	78
XXI.	Resistencia respecto a la relación agua/cemento	78
XXII.	Fallas en cilindros	84

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
h_p	Altura promedio
A_t	Área transversal promedio
P_{max}	Carga máxima soportada por la probeta
cm	Centímetros
cm ²	Centímetros cuadrados
Φ_p	Diámetro promedio de las probetas
σ	Esfuerzo
σ_p	Esfuerzo promedio
°C	Grados Celsius
kg	Kilogramos
lb	Libras
PSI	Libras sobre pulgadas cuadrados
L	Litros
m ³	Metros cúbicos
mm	Milímetros
Al ₂ O ₃	Óxido de aluminio
C _a O	Óxido de calcio
MgO	Óxido de magnesio
Na ₂ O	Óxido de sodio
P.B.	Peso bruto
P.U.	Peso unitario
“	Pulgadas
f_c	Resistencia a la compresión del concreto

SiO₂

V

Sílice

Volumen

GLOSARIO

Arte pictórico	Es una manifestación de las artes visuales que se expresa mediante el color.
ASTM	Sociedad Americana de Ensayos y Materiales. Organización voluntaria que se ocupa del desarrollo de normas de consenso, procedimientos de pruebas y especificaciones de productos.
Claustra	Patio cuadrangular que en sus cuatro lados tiene una galería porticada con arquerías que descansan en columnas o dobles columnas.
Ensayo	Procedimiento de análisis mecánico, en el cual una probeta es sometida para analizar, interpretar y evaluar sus propiedades mecánicas bajo esfuerzos.
Escayola	Yeso calcinado que, mezclado con agua, se emplea como material de escultura, para hacer moldes.
Esfuerzo	Relación entre la carga aplicada y el área de aplicación.
Foamglass	Vidrio celular aislante.

Esfuerzo	Relación entre la carga aplicada y el área de aplicación.
Fragmentación	Proceso en el cual un objeto grande se divide en varios pequeños.
Hibridación	Interacción de orbitales atómica dentro de un átomo para formar nuevos orbital hídrica.
Indisgregabilidad	Parámetro de control de calidad que se realiza con poca frecuencia una vez que es conocida la cantera, de donde se extraen los agregados.
Iram	Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
Llave de purga	Grifo o válvula de reducidas dimensiones que permite drenar o disminuir la compresión en el interior de los conductos.
Matriz cementante	Elemento compuesto por 2 o más materiales, en el cual uno de ellos sirve como cementante o aglutinante.
Monovalente	Que tiene una sola valencia.
Probeta	Pieza sometida a diversos ensayos mecánicos para estudiar la resistencia de un material.

Refracción	Cambio de dirección de un rayo de luz u otra radiación que se produce al pasar oblicuamente de un medio a otro de distinta densidad.
Resistencia	Capacidad de realizar esfuerzos de muy larga duración.
UNE	Unificación de Normativas Españolas.

RESUMEN

En este proyecto se encuentran las bases y estudios necesarios para la propuesta de utilización de desechos de vidrio como árido grueso para la elaboración de concreto. Los análisis de la investigación son: consulta bibliográfica, desarrollo experimental e interpretación de resultados. Para luego concluir.

El marco teórico abarca desde la historia, antecedentes, características, tipos y normativa aplicable del vidrio. A nivel de desarrollo experimental se explica el proceso de cómo se obtuvo y se procesó el vidrio, la caracterización del mismo y de los agregados. Así como la elaboración y los ensayos realizados a la mezcla en estado fresco y endurecido para obtener los resultados a analizar. A nivel de análisis de resultados se habla de cómo y con base en qué se analizaron e interpretaron en el laboratorio. Esto para verificar y concluir si es factible o no el utilizar desecho de vidrio como alternativa de agregado grueso como el pétreo.

Los resultados de los diferentes ensayos realizados en esta investigación indican que el mayor problema, al querer sustituir el árido natural, por el desecho de vidrio es la falta de adherencia de este. Por lo que una de las recomendaciones es que el uso de mezclas con porcentajes de vidrio, debe limitarse a elementos no estructurales.

OBJETIVOS

General

Analizar si las características y propiedades mecánicas del concreto se ven afectadas de manera significativa al sustituir el árido natural con vidrio triturado.

Específicos

1. Conocer el porcentaje máximo de vidrio reciclado que se puede sustituir al árido natural para no alterar la manejabilidad.
2. Verificar a qué se debe la mala fluidez de las mezclas de concreto al sustituir los diferentes porcentajes de vidrio.
3. Conocer qué tanto se afecta el asentamiento en las mezclas con sustituciones de vidrio.
4. Verificar que el peso unitario entre la mezcla patrón y las mezclas con adiciones de vidrio no tienen gran variación.
5. Dar a conocer los posibles usos que pueden tener las mezclas con sustituciones de vidrio.

INTRODUCCIÓN

El uso de materiales reciclados, en la inclusión de mezclas de concreto, ha ido en incremento en los últimos años. Esto debido a que reducen la contaminación del medio ambiente, y de igual manera reduce el uso de materias primas naturales, así como una reducción económica de la mezcla.

En este trabajo de investigación se presenta una nueva alternativa de agregado grueso. Esto es como el desecho de vidrio triturado, el cual pretende sustituir al árido natural, hasta cierto porcentaje, sin que las características físico-mecánicas del concreto se vean afectadas. Para ello se llevó a cabo una serie de ensayos de laboratorio.

En dicho trabajo se expone de forma lógica y ordenada el proceso de elaboración de 4 mezclas de concreto, a las cuales se les sustituyen ciertos porcentajes de agregado grueso por vidrio triturad. Se tuvo como margen de tolerancia una mezcla patrón, la cual sirvió para medir los diferentes parámetros de calidad en las otras mezclas.

Para el estudio se desarrollaron pruebas a los componentes del concreto para conocer sus características físicas y cualitativas. Las mezclas se elaboraron siguiendo la guía del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII). Las sustituciones de vidrio en las mezclas se realizaron por medio de porcentajes de masa. Esto se debió a que la gravedad específica entre un agregado y otra era semejante. Asimismo, se realizaron las mezclas y se

procedió a medir el asentamiento, peso unitario, porcentajes de vacíos y temperatura.

Posteriormente se procedió al moldeo de 6 cilindros por mezcla, los cuales se ensayaron a 3, 7 y 28 días. Esto con el objetivo de verificar y determinar las propiedades mecánicas de las mezclas y sus respectivas resistencias.

Finalmente se analizaron los resultados de los ensayos realizados. El fin es conocer el porcentaje máximo de vidrio, que se puede sustituir sin que se vean afectadas las propiedades físico-mecánicas del concreto. Así como verificar si es factible o no utilizarlo, y determinar que aplicaciones se le pueden dar a este tipo de concreto.

1. VIDRIO

Cuerpo sólido, transparente y frágil que proviene de la fusión a 1 200 °C de una arena silíceo mezclada con potasa o sosa. A temperatura ordinaria constituye una masa amorfa, dura, frágil y sonora. Este por lo general es transparente, aunque también puede ser incoloro u opaco, y su color varía según los ingredientes de la hornada.

1.1. Historia

A lo largo de los siglos, el vidrio ha sido un material muy utilizado como cerramiento de vanos en edificios de muy diversa índole. Su uso, en toda una variedad de tamaños, colores y formas, se ha visto facilitado por una serie de características inherentes a este material, las cuales han sufrido pocos cambios con el paso de los siglos. Sus ventajas principales sobre otros materiales son propiedades de translucidez y transparencia, aislamiento térmico y acústico. Es de relativo bajo costo de producción, su dureza, y facilidad para ser decorado y transformar la luz que penetra en el interior de un espacio. Actualmente, el vidrio, en sus múltiples variantes, si bien tiene que competir y convivir con otros productos sigue siendo uno de los materiales más versátiles utilizados en la construcción, cuyo futuro ofrece insospechadas posibilidades.

- Los orígenes

Los primeros vidrios utilizados como cerramiento de ventanas en edificios públicos romanos, posiblemente hacia el siglo I d.C., eran vidrios planos fabricados mediante el método de vertido o colado en mesas, moldes o

bandejas, cuya superficie podía ser de metal, piedra, mármol o madera humedecida. El tamaño de las distintas láminas obtenidas podía ser de superficies relativamente grande, siendo las de mayor tamaño encofradas de 100 x 70 cm, en unas termas de la ciudad de Pompeya. Su espesor medio oscilaba entre los 2 y 15 mm. Para cubrir todo el hueco de los ventanales era necesario su compartimentación mediante marcos sustentantes en madera, cobre o escayola, los cuales cumplían también una función decorativa. Este tipo de ventanas esta conocido como claustro.

- El soplado del vidrio con caña

El método de fabricación del vidrio, mediante la técnica de soplado a boca, desarrollado en Siria durante el período romano entre los siglos I y II a.C., supuso una gran revolución en la técnica y artesanía del vidrio y también, en la historia de la construcción. Este acontecimiento permitió la fabricación de láminas de vidrio de mayor tamaño, que facilitó el acristalamiento de ventanales cada vez más grandes y de forma más económica en los edificios. Otra de las ventajas que supuso el soplado de vidrio, mediante el empleo de caña, fue una mejoría sustancial en su calidad, ya que para ser trabajado por esta técnica se requieren temperaturas considerablemente más elevadas que las que exige el trabajo de las pastas de vidrio.

- El desarrollo del arte de la vidriería

La segunda gran innovación técnica y artística mencionada, la vidriera, consiste en cerrar el vano de un ventanal mediante paneles compuestos por pequeños fragmentos de vidrio plano unidos entre sí mediante varillas de plomo. Según algunos autores, el origen de la vidriería habría que buscarlo en las celosías de vidrios coloreados, utilizados como cerramientos de edificios en

el mundo islámico. Su introducción en Europa se produjo a través de los contactos del mundo cristiano con Bizancio y la España musulmana, alcanzando su apogeo y sus máximas cotas de expresividad durante el arte romano y especialmente el gótico.

- La vidriería como juego de luces y colores

El uso de vidrios de colores emplomados como cerramiento de los ventanales de las iglesias tenía un atractivo especial para el cristianismo durante la Edad Media, dadas las múltiples posibilidades decorativas, simbólicas, didácticas y propagandísticas que ofrecía, de ahí su rápida difusión. El simbolismo de la luz y la búsqueda de efectos de luz y color en el interior de los templos cristianos, fueron una constante durante la Edad Media, ya que la luz estaba asociada a Dios.

- Los avances en la industria del vidrio

En lo concerniente a los aspectos técnicos, de la fabricación del vidrio plano, se puede apreciar a partir del siglo XV y especialmente en el XVI, una serie de cambios importantes. Por un lado, se produce una disminución del grosor de los vidrios, los cuales seguían siendo fabricados por el método de soplado a boca en forma de cilindros o discos.

Posiblemente el perfeccionamiento, en la técnica del soplado a boca, en combinación con un deseo de más luminosidad y, seguramente la reducción de costos, condujo a la fabricación de vidrios más delgados y, por lo tanto, más luminosos. Al mismo tiempo, la calidad de los vidrios mejora al utilizarse en su composición soda en lugar de potasa, lo que aumenta su resistencia al deterioro químico. Por otro lado, los cambios estéticos producidos durante los

períodos de Renacimiento y Barroco, supusieron la transformación de la vidriería en un arte pictórico sobre un medio translúcido o en una vidriería incolora. Este cambio condujo a una reducción de la red de plomo, a fin de favorecer una mayor calidad compositiva y pictórica, y un aumento del tamaño de los vidrios. Estos son entendidos ahora como material de cerramiento o, en el mejor de los casos, como soporte de las escenas sobre ellos pintadas.

- Arquitectura en vidrio y renovación de la vidriería

Como consecuencia de todos estos avances, surgió paralelamente un tipo de arquitectura civil donde el hierro y el vidrio, normalmente transparente y sin decoración, ganarán espacio en muros y cubiertas, permitiendo el acristalamiento de grandes superficies y el nacimiento de una arquitectura translúcida.

1.2. Composición

El vidrio común o vidrio templado, también denominado vidrio de silicato sodocálsico, está compuesto por:

• Elemento	Porcentaje
○ Sílice (SiO_2), material vitrificante	De 69 a 74
○ Óxido de sodio (Na_2O), fundente	De 12 a 16
○ Óxido de calcio (CaO), estabilizante	De 5 a 12
○ Óxido de magnesio (MgO)	De 0 a 6
○ Óxido de aluminio (Al_2O_3)	De 0 a 3

Además de estos componentes, el vidrio puede contener también pequeñas cantidades de otras sustancias.

1.3. Proceso de fabricación

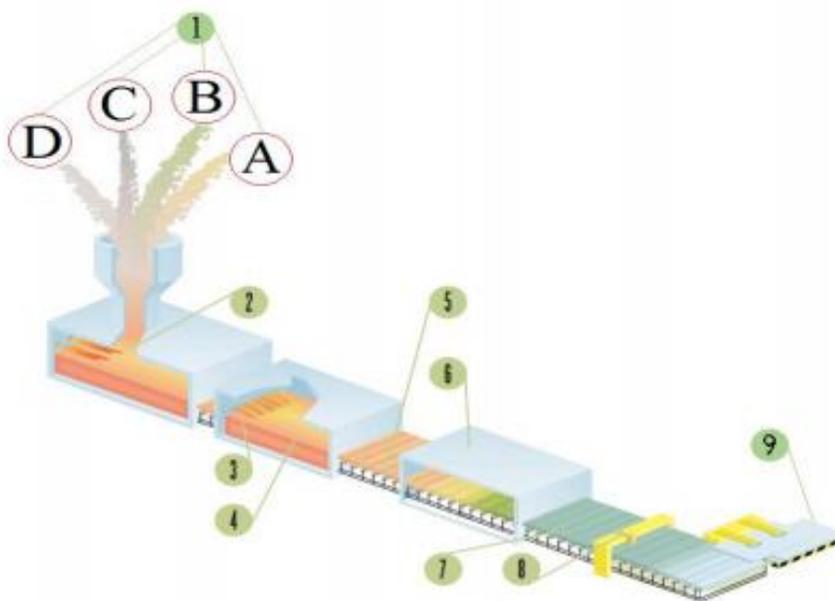
Este material sólido, frágil y por lo general transparente, presenta diferentes colores según los componentes que se utilicen en su fabricación. El proceso de elaboración consiste en fundir ciertas sustancias, y ya combinadas, solidificarlas, su origen se remonta a una época anterior al 2000 a.C., cuando se trabajaba a mano usando moldes. A lo largo del tiempo, el vidrio se ha empleado para fabricar recipientes, objetos decorativos como los de joyería, y también en la arquitectura y la industria. En la actualidad, su reciclaje supone un importante beneficio para conservar el medio ambiente y no contaminarlo.

A continuación se describe cómo es el proceso paso a paso, para la fabricación del vidrio templado.

- Paso 1: las materias primas para la producción moderna de una gran variedad de vidrios se emplea una mezcla de materias primas, que se introducen en un depósito llamado tolva.
- Paso 2: los ingredientes se funden en un horno para obtener cristal líquido (entre 1 500 y 2 000 °C). El fuego lo mantiene caliente y fluido.
- Paso 3: el flujo de cristal fundido varía según se desee que sea el grosor de la lámina final.
- Paso 4: el vidrio flota sobre el estaño a 1 000 °C. En este depósito se va enfriando y solidificando.
- Paso 5: el vidrio es ahora pegajoso y viscoso, pero tiene la suficiente consistencia para permitir el resto del proceso.
- Paso 6: en un horno-túnel se vuelve a calentar el vidrio sin llegar a fundirlo.
- Paso 7: se deja enfriar lentamente para que no se agriete.
- Paso 8: un diamante corta el cristal.

- Paso 9: resultado final: vidrio de tres metros de ancho y diferentes espesores.

Figura 1. Descripción del proceso de fabricación del vidrio



Fuente: IRUSTA, Manuel. *Proceso fabricación del vidrio*. p. 1.

La materia prima va ingresando, según el volumen requerido (dosificación) y cada material está representado de la siguiente manera (ver figura 1).

- Arena: es el principal componente, representa con la letra (A).
- Carbonato de sulfato de sodio: para que la arena se funda a menor temperatura se representa con la letra (B).
- Piedra caliza: para que el cristal no se descomponga en el agua se presenta con la letra (C).
- Cristal reciclado: su uso es ecológico porque ahora el gasto de las otras materias primas se representa con la letra (D).

1.4. Características del vidrio

Los vidrios son materiales cerámicos no cristalinos. Se denominan como materiales amorfos e inorgánicos, de fusión, que se ha enfriado a una condición rígida sin cristalizarse. Además, es una materia inerte, compuesta principalmente de silicatos. Es duro y resistente al desgaste, a la corrosión y a la compresión.

1.4.1. Características físicas

Este material tiene un aspecto macroscópico que corresponde al de un sólido típico, de hecho es uno de los materiales más duros conocidos. Sin embargo, desde el punto de vista molecular es un líquido sobre enfriado, lo que ocurre es que se trata de un material muy viscoso. Por lo tanto, la velocidad con la que fluye es muy lenta, tan lenta que tarda cientos de años en lograr fluir a temperatura ambiente.

1.4.1.1. Color

El color es originado por elementos que se agregan en el proceso de fusión, llamados colorantes. Estos se van agregando en el momento de la fundición, y se le agregan según el color que se desea. (Ver tabla I).

Tabla I. **Colorantes del vidrio**

ELEMENTO	COLOR
Óxido de cobalto	Rojo azulado
Óxido ferroso	Azul
Óxido férrico	Amarillo
Óxido de cromo	Verde grisáceo
Trióxido de cromo	Amarillo

Continuación de la tabla I.

Óxido de cobre	Verde azulado
Óxido de uranio	Verde amarillento fosforescente
Selenio elemental	Rosa
Sulfuro de cadmio coloidal	Amarillo

Fuente: Norma IRAM 12 565. *Colorantes del vidrio*. p. 4.

1.4.1.2. Textura

Un vidrio completamente fundido presenta un brillo característico, porque el vidrio se nivela y aplanan cuando se funde, formando una superficie extremadamente lisa y homogénea. Esto es una muy buena característica del material, pues lo hace más fácil de limpiar. Cuando un vidrio no se funde completamente en el proceso de cocción, la viscosidad es todavía alta, la superficie resulta ser rugosa y por lo tanto con tendencia a mate. (El vidrio mate es a la vez opaco por el defecto en la aspereza de su superficie haciendo que no haya transparencia).

1.4.1.3. Peso

El peso en los vidrios difiere de acuerdo a su composición y a la densidad de los vidrios.

1.4.1.4. Maleabilidad

Los vidrios presentan maleabilidad cuando se encuentran en su etapa de fundición, pues pueden ser moldeados. La etapa de maleabilidad del vidrio es cuando se les da la forma deseada, ya sea por moldes o por cualquier otro

método. Los principales métodos empleados para moldear el vidrio son el colado, soplado, prensado, estirado y laminado.

1.4.2. Propiedades mecánicas

El comportamiento del vidrio bajo esfuerzos depende de varios factores: la rigidez de los enlaces entre las moléculas que lo constituyen y principalmente el estado de su superficie. La resistencia mecánica real del vidrio está muy por debajo de su resistencia teórica, durante su uso el vidrio puede estar sometido a esfuerzos mecánicos de diferente tipo: flexión, impacto y dureza.

1.4.2.1. Flexión

La resistencia a la flexión es una propiedad del vidrio muy importante. Esto porque el vidrio está expuesto a este tipo de esfuerzo en la mayoría de los casos y es una manera de poner a prueba su resistencia. Esto se comprobará con ensayos en el laboratorio donde se verificará la carga y deflexión de este material.

1.4.2.2. Impacto

Cuando se habla de ensayo de impacto, para el vidrio, es importante mencionar que existen diferentes tipos de vidrio. Entre ellos están: el vidrio común o templado y el laminar. El vidrio común por no tener una estructura interna absorbe muy poco la energía de impacto, razón por la cual al momento de la falla de sus fragmentos salen volando de una manera explosiva y repentina. Esto sin dar algún tipo de advertencia como pequeñas fisuras antes del momento de falla. Esto lo hace comportarse como un material frágil.

1.4.2.3. Dureza

Es una característica intrínseca del material. Esta depende de la densidad, y de la composición química, se manifiesta como la dificultad de romperse, ser penetrado y rayado por otros cuerpos o materiales.

1.4.3. Características químicas

El vidrio es un material que resiste la mayoría de los agentes químicos y atmosféricos. Es muy resistente al agua, a las soluciones neutras y ácidas, a los ácidos fuertes y sus mezclas. También con tiempos de exposición prolongados y temperaturas superiores a 100 °C, su resistencia química supera a la de la mayoría de los materiales y otros materiales. Mediante la acción del agua y los ácidos, únicamente se desprende del vidrio una minúscula capa.

1.4.3.1. Resistencia al agua

El agua ataca al vidrio disolviendo algunos de sus componentes, lo que se manifiesta por pequeñas pérdidas de masa. La intensidad del agua que depende de varios factores: temperatura, tiempo de contacto, composición del vidrio, agitación y el estado de la superficie. A temperatura ambiente el ataque es insignificante, la pérdida de masa después de estar sumergido durante horas es prácticamente inapreciable. Al aumentar la temperatura la intensidad del ataque crece exponencialmente.

1.4.3.2. Resistencia a los ácidos

El efecto de las actuaciones de ácido, sobre la superficie del vidrio, es despreciable. Se disuelven desde el vidrio, en muy pequeñas cantidades, iones

preferentemente monovalentes. Con ello se forma una capa de gel de sílice, muy delgada y poco porosa sobre la superficie del vidrio, que inhibe un ataque posterior. Una excepción la constituyen el ácido fluorhídrico y el ácido fosfórico concentrado y caliente, que evitan la formación de la capa pasiva.

1.4.3.3. Resistencia a los agentes atmosféricos

El ataque del vidrio por agentes atmosféricos puede ocasionar la aparición en su superficie de manchas y escamas. El principal responsable de dicho ataque es el agua contenida en la atmósfera que se condensa frecuentemente sobre la superficie fría del vidrio. Esta pequeña cantidad de agua superficial es más peligrosa que gran cantidad de agua fluyendo, ya que da lugar a una disolución concentrada de NaOH que ataca al vidrio. Resulta por consiguiente aconsejable evitar en lo posible la condensación.

1.5. Proceso de transformación

El vidrio templado no se clasifica como vidrio de seguridad, ya que posee un patrón de rotura similar al del vidrio recocido. Su uso es adecuado en aplicaciones sujetas a tensiones térmicas, pero que no exijan requisitos de seguridad.

A continuación se explica paso a paso el proceso de transformación.

- Paso 1: corte de piezas: el vidrio templado se puede producir, bien en dimensiones estándar o bien en medida fija según las especificaciones del cliente.

- Paso 2: manufactura: el vidrio templado se suele utilizar en aplicaciones en las que el vidrio va a soportar un alto esfuerzo mecánico. (Por ejemplo: en puertas, paneles laterales, vehículos y otros).
- Paso 3: limpieza: cada panel se limpia cuidadosamente bajo condiciones controladas para asegurar que ninguna impureza altere la superficie del vidrio.
- Paso 4: tratamiento térmico: una vez que el vidrio es cortado a medida, manufacturado y limpiado, se calienta en un horno hasta una temperatura de 620 °C, justo por encima del punto de fusión de este material.
- Paso 5: proceso de templado: el vidrio es enfriado bruscamente por medio de un flujo de turbinas de aire que hacen que se contraiga la superficie. El núcleo interno del vidrio tarda más tiempo en enfriarse, lo que da lugar a tensiones de tracción permanente. La superficie adquiere la rigidez antes que en las capas internas que aún se encuentran en estado plástico, de este modo la superficie del vidrio queda sometida a fuerzas de compresión. Este proceso confiere al material resistencias mecánicas y térmicas muy superiores a las que tiene un vidrio sin templar.
- Paso 6: etiquetado, embalaje y transporte: las etiquetas con todos los detalles del pedido se colocan una vez que el vidrio templado está terminado.

Para una mejor manipulación y transporte, del mismo, suele colocarse sobre caballetes especiales para este uso.

1.6. Tipos de vidrio

Cuando la materia prima se le agregan distintos compuestos químicos, se obtienen diferentes tipos de vidrio. Con base en su composición química se puede hacer una clasificación como la que aparece a continuación:

- Vidrio duro: este es de elevado punto de fusión, contiene carbonato potásico y sirve para fabricar tubos y utensilios de laboratorio que han de resistir altas temperaturas.
- Fibra de vidrio: filamentos que son utilizados frecuentemente en láminas para la construcción de embarcaciones pequeñas.
- Vidrio Flint: especial con un elevado índice de refracción. Es muy utilizado en óptica y también se emplea con fines decorativos.
- Vidrio ligero: es utilizado generalmente en la fabricación de envases.
- Vidrio Pyrex: nombre comercial del vidrio con pequeño coeficiente de dilatación térmica, por lo que es muy resistente a las altas temperaturas.
- Vidrio de jena: de gran resistencia a los agentes químicos y de bajo coeficiente de dilatación, se utiliza en la fabricación de utensilios para laboratorio.
- Vidrio de seguridad: el que en caso de rotura, se reduce a fragmentos pequeños no cortantes. Esto para su obtención, pues en vez de sufrir el tratamiento de recocido, se enfría bruscamente desde temperaturas

próximas al reblandamiento, con lo que las superficies exteriores adquieren un estado de tensión.

- Vidrio calizo: es el vidrio común. Está formado de manera dominante por sílice, así como por calcio y sodio. El vidrio calizo sirve para la fabricación de vasos, vajillas, mesas, ventanas y otros enseres. Actualmente su elaboración ha mejorado considerablemente, ya que si se le agrega una mayor cantidad de sílice, experimenta una resistencia al choque térmico superior. Como ejemplo se pueden mencionar algunos productos de Crisa (tazas y vasos), que resisten con facilidad líquidos calientes, fríos y soportan los impactos.
- Vidrio de uso farmacéutico: el vidrio, por ser un material inerte es muy higiénico y no causa ninguna reacción química con sus contenidos, protegiéndoles de alguna contaminación u alteración.

1.7. Problemas ambientales derivados de su mala disposición

Hace años el planeta viene acumulando millones de objetos de vidrio y la naturaleza no sabe ahora qué hacer con ellos. Ya que cada objeto de este material dura hasta 4 000 años en desintegrarse, mientras tanto, el vidrio convive con personas, animales y plantas, y su impacto ya es evidente en el fondo de lagos y ríos, acumulación desordenada de desechos de vidrio en terrenos al aire libre, fragmentos del mismo en drenajes.

Aunque el vidrio en sí mismo no constituye una amenaza para el medio ambiente porque es inerte, aunque no es biodegradable. Si se expone a las fuerzas de erosión, el vidrio se rompe en pequeños trozos de sílice, arena de playa, uno de los elementos más comunes en la tierra.

1.8. Forma de reciclaje actuales

El reciclado es una forma de ayudar al medio ambiente, por medio de la reutilización de materiales. En este caso específicamente: el vidrio.

- **Reciclaje tradicional**

El vidrio para reciclaje es recogido o separado de la basura. Esto generalmente sucede en un vertedero, en el hogar o en cualquier otro lugar en el que el envase termina de ser útil y es clasificado por color (verde, ámbar y claro). En la mayoría de los casos el vidrio es triturado para disminuir su volumen, mientras se almacena o bien para hacer más eficiente su traslado. Sin embargo, la rotura del vidrio no es deseable si se produce antes de la separación por colores, pues no es fácil separar el vidrio roto del resto de los residuos mezclados, pasando a convertirse en un material de vidrio mezclado que no tiene valor real.

El vidrio de envase es un material de baja densidad hasta que se rompe o tritura. Entonces se convierte en un material de alta densidad. Normalmente se almacena el vidrio hasta acumular la cantidad suficiente de un color que posibilite un transporte rentable. Los vidrios rotos se transportan frecuentemente como material a granel en grandes contenedores. Ocasionalmente se utilizan contenedores más pequeños para transportar cantidades menores de vidrio limpio y de color uniforme hasta un centro de acopio o bien es transportado directamente a la planta de transformación.

En el proceso de reciclaje de vidrio, las materias primas vírgenes son sustituidas por vidrio recuperado. El proceso de reciclado no es un evento

aislado de la preparación de la materia prima virgen, sino paralelo en un principio para luego converger en un punto común.

- Otras formas de reciclado de vidrio

El vidrio se utiliza, o puede ser utilizado, en la fabricación de:

- *Glassphalt*, un asfalto con un porcentaje de vidrio triturado que se utiliza en las carreteras.
- Materiales de edificación y construcción, tales como ladrillos, tejas de arcilla y bloques. También árido ligero para el hormigón y los plásticos. Así como compuestos de polímeros de vidrio y *foamglass* para tablas de construcción y aislamiento.
- Pintura reflectante para señales viales, elaborada con pequeñas esferas de vidrio.
- Aislamiento de lana de vidrio.
- Postes para cables telefónicos y para vallas, mezclando vidrios rotos con polímeros plásticos.
- Enmiendas de suelo para mejorar el drenaje y la distribución de la humedad y arena artificial para la restauración de playas y abrasivos.

1.9. Manejo actual del residuo a nivel nacional

Hace más de 51 años apareció, en Guatemala, la industria del vidrio como respuesta a una demanda de empaques de vidrio utilizados en la industria de bebidas carbonatadas, cerveza, alimentos, medicina y licores. Como consecuencia del desarrollo de la industria vidriera, se empezaron a generar grandes volúmenes de residuos de vidrio especialmente en las fábricas de alimento que requieren de envases. Desde allí se inicia el traslado de las primeras toneladas de residuo de vidrio para ser reincorporado al proceso de producción, por lo que se inicia el reciclaje de vidrio. Culletes un vocablo francés utilizado en Guatemala para designar el residuo de vidrio.

En 1970 se inició la compra de vidrio procedente del vertedero municipal de la zona 3, como indicio de la recuperación del vidrio de origen domiciliar. De igual forma se empezó en 1980 a comprar vidrio procedente de El Salvador y Honduras. A mediados de 1990 se iniciaron programas de recolección de vidrio hacía todo el país, siempre con el propósito de reciclarlo.

- Estimados de generación de vidrio

Los volúmenes actuales de producción de vidrio en Guatemala son de 4 250 toneladas por mes. Todo lo que se produce es envase en tres colores diferentes: 65% transparente, 15% marrón y 20% verde.

- Volumen estimado de vidrio en los residuos domiciliarios

A continuación se presenta un estimado de la generación de residuos domiciliarios. Se entiende como residuos domiciliarios aquellos generados en las

casas de los habitantes de un sector. En esta estimación no se incluyen los residuos generados en la industria ni en el sector comercial.

Tabla II. **Composición de residuos sólidos domiciliarios (vidrio)**

Estrato Socioeconómico tipo de residuo	ALTO	MEDIO ALTO	MEDIO BAJO	BAJO
Vidrio	2,5%	1,7%	1,3%	1,0%

Fuente: Cepis. OMS.

Según la información del Banguat, 31 275 toneladas corresponden a residuos y desperdicio de vidrio recolectados anualmente. En cuanto a la generación de residuos a nivel domiciliario, para el rubro de vidrio, se estima un porcentaje de generación alrededor del 1 a 2,5% del total de residuos a nivel nacional, según criterio de la OPS, un 3,2% del total de residuos producidos a nivel metropolitano según criterio de JICA y un 4% a nivel departamental según criterio de ECONSULT. Esto da un total de generación de 15 231 a 38 077 toneladas anuales nivel nacional, 22 192 toneladas anuales a nivel departamental y de 18 327 toneladas anuales en el área metropolitana.

1.10. Tratamiento, infraestructura y capacidad actual en el país

Guatemala es el país centroamericano que está a la vanguardia en el reciclaje del vidrio, con un 55 % del total producido. Pues en algunos casos se han logrado volúmenes de reciclado de 35 000 toneladas métricas anual aproximadamente.

En la ciudad de Guatemala se acopia para el área de Guatemala, El Salvador y San Pedro Sula en donde se recolecta aproximadamente 2 000

toneladas por mes, de las cuales 1 600 toneladas se recolectan solo en Guatemala. Del total de residuos recuperados; el 65% proviene de las empresas embotelladoras, el 25% de los vertederos, el 5% de vidrierías y el restante 5% de ONG.

Este volumen de recuperación es considerable, tomando en cuenta que el contenido de vidrio en los residuos sólidos es sumamente bajo, es decir no más de 3,5% del total del volumen de la basura que se genera domésticamente. Sumando esto al desconocimiento en general de la población de su enorme potencial como materia prima. El mayor porcentaje de vidrio para reciclar es proveniente de envases de todos los colores, pero también se recibe vidrio plano para ventanería de color transparente, aunque no de colores. Esto porque contiene contaminantes que interfieren con el proceso, los cuales producen vidrio de baja calidad con burbujas, vetas y rayones.

1.11. Ciclo de vida del residuo a nivel nacional (diagrama)

El desperdicio (pedazos de vasija o vaso que se rompe) de vidrio proviene fundamentalmente de dos fuentes: una interna y otra externa. En cada fábrica de vidrio se produce internamente cierta cantidad de desperdicio, que es reutilizado en la propia fábrica sin otro procesamiento adicional, debido a que su calidad y composición es conocida. El desperdicio generado externamente tiene diversas procedencias. La principal fuente de desperdicio de vidrio externo son los propios usuarios y procesadores de todo tipo de productos de este material.

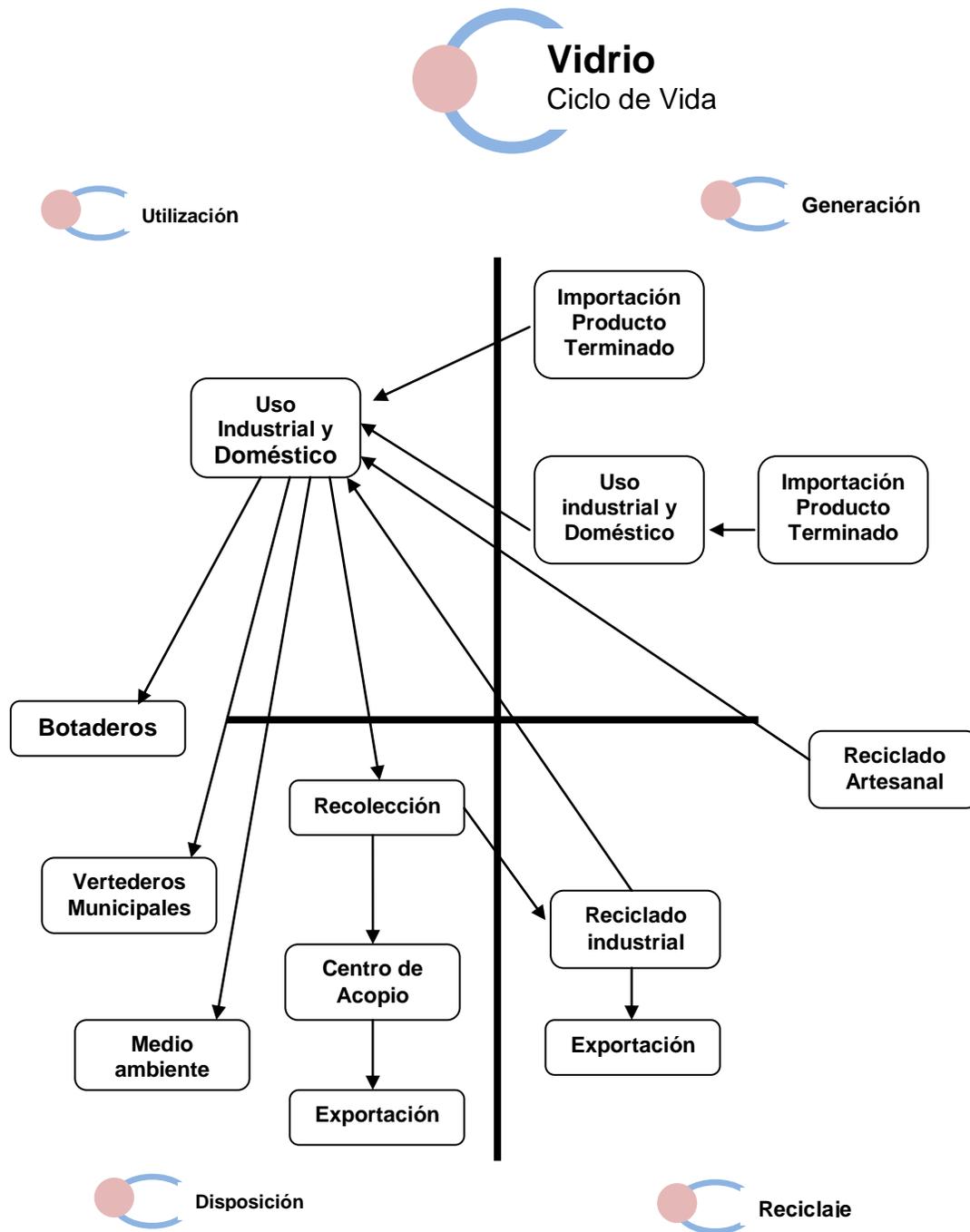
En el caso de los residuos domiciliarios, la situación es muy compleja, no siempre es posible conocer la procedencia y composición química de cada vidrio encontrado. En este caso, la mejor solución es separar y clasificarlo por producto, determinando luego su destino correcto. Algunos procesos de

fabricación de vidrio pueden usar solo el sobrante de vidrio generado internamente (por ejemplo, el vidrio plano). En otras industrias de vidrio es posible aprovechar una cierta cantidad del sobrante generado externamente (por ejemplo, envases de vidrio).

El mercado del vidrio se disgrega en tres vertientes sustancialmente diferentes:

- Vidrio recuperado para materia prima de la empresa productora de envases de vidrio.
- Botellas y envases con posibilidad de reutilización.
- Vidrio plano.

Figura 2. Diagrama de vida del vidrio



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2007.

1.12. Normativa aplicable

Son documentos que han sido desarrollados y establecidos dentro de los principios de consenso de una organización. Además cumplen con los requisitos de los procedimientos y regulaciones, para establecer criterios de calidad de los materiales.

- Internacional

Las normas internacionales son propuestas por organizaciones y profesionales, quienes conjuntamente, aprueban y trabajan sobre los reglamentos de la misma. En esta sección se presentan las Normas ASTM, Iram, UNE y Coguanor.

- Normas ASTM
 - ASTM C 148: Test Methods for Polariscopio Examination of Glass Containers. (Métodos de prueba para el examen polariscopio de envases).

Este método de ensayo cubre la determinación del punto de recocido y el punto de deformación de un cristal mediante la medición de la tasa de elongación de una fibra de vidrio que se analiza.

- ASTM C 336: Test Method for Annealing Point and Strain Point of Glass by Fiber Elogation. (Método de prueba para el recocido y el momento de la cepa de vidrio por alargamiento de la fibra).

Este método de ensayo cubre la determinación del punto de recocido y el punto de deformación de un cristal. Esto mediante la medición de la tasa de elongación de una fibra de vidrio que se analiza.

- ASTM C 338: Test Method for Softening Point of Glass. (Método de prueba para punto de reblandecimiento del vidrio).

Este método de ensayo cubre la determinación del punto de reblandecimiento de una copa por la determinación de la temperatura a la que una fibra cilíndrica, nominalmente de 0,65 mm de diámetro y 235 mm de largo. Con las tolerancias especificadas se alarga por su propio peso a una velocidad de 1 mm/min, en los primeros 100 mm de su longitud se calienta en un horno determinado a razón de $5\pm 1^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

- ASTM C 598: Test Method for Annealing Point and Strain Point of Glass by Beam Bending. (Método de prueba para el recocido y el momento de deformación del vidrio por medio de la deflexión de una viga de vidrio que se analiza)

Este método de ensayo cubre la determinación del punto de recocido y el punto de deformación de un cristal. Esto es por la medición del gradiente de determinación viscosa del punto medio de flexión de una viga de cristal, simplemente cargada. Sin embargo, a temperaturas que corresponden a la

hibridación y los puntos de presión, la viscosidad del vidrio es altamente dependiente del tiempo.

Por lo tanto, cualquier viscosidad que podrían derivarse o inferirse a partir de las mediciones realizadas por este procedimiento, no se puede asumir que representan las condiciones de equilibrio estructural.

- ASTM C 1048: Specification for Heat-Treated Glass-Kind Hs, Kind FT Coated and Uncoated Glass. (Especificación para vidrio tratado térmicamente tipo M, tipo SA, con y sin recubrimiento).

Esta especificación cubre los requisitos para el plano reforzado por calor y planos totalmente templados y cristal sin recubrimiento. Este es utilizado en la construcción de edificios en general.

- ASTM C 1172: Specification for Laminated Architectural Flat Glass. (Especificación para vidrio plano arquitectónico laminado).

Esta especificación cubre los requisitos de calidad del vidrio plano laminado. Consiste en dos o más hojas de vidrio unidas con un material entre capas para su uso en el acristalamiento de edificios.

- ASTM C 169-92 (Reapproved 2000): Standard Test Methods for Chemical Analysis of Soda-Lime and Borosilicate Glass. (Métodos de prueba estándar para el análisis químico de vidrio sódico-cálcico y boro-silicato).

Estos métodos de ensayo cubren el análisis químico cuantitativo de las composiciones de vidrio sódico-cálcico y boro-silicato para el análisis de rutina.

- ASTM C 424-93 (Reapproved 1999): Standard Test Method for Crazing Resistance of Fired Glazed White wares by Autoclave Treatment. (Método de prueba estándar para Resistencia al cuarto de la alfarería blanca abrigantada por llama por medio de tratamiento en autoclave).

Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a la figuración de mercancías de despedido cristal blanco con el tratamiento en autoclave y en las condiciones especificadas en este método de ensayo.

- ASTM C 429-01: Standard Test Method for Sieve Analysis of Raw Materials for Glass Manufacture. (Método de prueba estándar para el análisis granulométrico de las materias primas para la fabricación del vidrio).

Este método de ensayo del análisis granulométrico de las materias primas comunes para la fabricación de vidrio, tales como arena, ceniza de soda, cal, silicatos, alcalinos-alúmina y otros materiales granulares utilizados en el lote de vidrio.

- ASTM C 657-93 (Reapproved 2003): Standard Test Method for D-C Volume Resistivity of Glass. (Método de prueba estándar para el volumen de resistividad D-C de vidrio).

Este método de ensayo cubre la determinación del volumen de corriente continua a resistencia de una superficie lisa, preferentemente pulida. Es vidrio para la medición de la resistencia al paso de una pequeña cantidad de corriente a través de cristal a un voltaje lo suficientemente alto como para asegurar una adecuada sensibilidad.

Esta corriente debe ser medida bajo condiciones de estado estacionario que no es ni una corriente de carga, ni una carga espacial, la polarización de la acumulación actual.

- ASTM C 724-91 (Reapproved 2000): Standard Test Method for Acid Resistance of Ceramic Decorations on Architectural-Type Glass. (Método de prueba estándar para resistencia a los ácidos de las decoraciones de cerámica en vidrio arquitectónico).

Este método de ensayo cubre la determinación cualitativa de la resistencia a los ácidos de la decoración cerámica de vidrio arquitectónico.

- ASTM C 730-98 (Reapproved 2003): Standard Test Method for Knoop Indentation Hardness of Glass. (Método de prueba estándar para la dureza knoopsangria de vidrio).

Este método de ensayo cubre la determinación de la dureza de identificación knoop de vidrio y la verificación de las máquinas de ensayo de dureza de knoop sangrado unos de anteojos estándar.

- ASTM C 770-98: Standard Test Method for Measurement of Glass Stress Optical Coefficient. (Método de prueba estándar para la medición de vidrio óptico coeficiente de estrés).

Este método de prueba cubre los procedimientos para la determinación del coeficiente de esfuerzo de óptica de vidrio, que se utiliza en los análisis foto elástica. En el procedimiento de un retraso de la óptica se determina por una fibra de vidrio sometido a tensión uni-axial.

- ASTM C 773-88 (Reapproved 1999): Standard Test Method for Compressive (Crushing) Strength of Fired Whiteware Materials. (Método de prueba estándar para la compresión (aplastamiento) resistencia de materiales losa despedido).

Este método de ensayo cubre dos procedimientos de prueba (A y B) para la determinación de la resistencia a la compresión.

- Normas Iram
 - Iram 12556. Vidrios planos de seguridad para la construcción.

Esta Norma establece los requisitos que deben cumplir los vidrios planos de seguridad para la construcción, para ser considerados como tales. Los clasifican a partir de sus características de rotura en función de la altura de caída de la masa de impacto.

- Iram 12559. Vidrios planos de seguridad para la construcción. Método de determinación de la resistencia al impacto.

Esta Norma establece el método de determinación de la resistencia al impacto de los vidrios planos de seguridad para la construcción, al ser impactados por una masa de 45 kg.

- Iram 12565. Vidrios planos para la construcción para uso en posición vertical. Cálculo del espesor conveniente de vidrios verticales sustentados en sus cuatro bordes.

Esta Norma establece el método para calcular ante la sollicitación de la presión del viento, el espesor conveniente de los vidrios planos, básicos y procesados en formas de vidrios de seguridad, templados o laminados y unidades de doble vidriado hermético para la construcción y utilizados en forma de paños verticales sujetos en sus cuatro bordes.

Con la presión de carga de diseño de viento, mediante la utilización de un ábaco, se determina el espesor del vidrio. Esto es para los distintos tipos de vidrios básicos o procesados.

- Iram 12572. Vidrios de seguridad planos, templados para la construcción. Método de ensayo de fragmentación.

En esta norma se establece el método de ensayo de fragmentación de vidrios de seguridad planos, templados, que se emplean en la construcción. Este método orienta sobre la calidad del tratamiento térmico y las características de seguridad del vidrio en caso de rotura.

- Iram 12595. Vidrio plano de seguridad para la construcción. Práctica recomendada de seguridad para áreas vidriadas susceptibles de impacto humano.

Esta Norma establece las recomendaciones para el uso de los vidrios en posición vertical, instalados en lugares susceptibles de impacto humano. El propósito de estas recomendaciones es el de reducir las lesiones y el riesgo de corte y heridas profundas, ocasionadas por la rotura del vidrio.

- Iram 12596. Vidrio para la construcción. Práctica recomendada para el empleo de vidrios de seguridad en la construcción.

Expectativas de empleo: es creciente la tendencia por lograr cada vez más transparencia en las construcciones y emplear paños vidriados de medidas cada vez mayores. Al mismo tiempo el usuario tiende a olvidar su fragilidad y el peligro que puede acarrear en caso de accidentes. A diferencia de los vidrios

comunes, los de seguridad poseen propiedades de una mayor resistencia al impacto y en caso de rotura ofrecen significativamente menor riesgo para causar heridas graves. Esta Norma establece la práctica recomendada para el empleo de los vidrios de seguridad en la construcción.

Individualiza aquellas aplicaciones, donde el empleo de vidrios de seguridad permita minimizar las consecuencias de accidentes como producto de su rotura accidental o premeditada.

- Iram 12840. Vidrios para techos. Práctica recomendada acerca de su uso.

Especifica vidrio para superficies inclinadas sobre las áreas de circulación o permanencia de personas. Se recomiendan los espesores mínimos de vidriado a emplear según las dimensiones del paño. Además de la inclinación de la cubierta para distintas composiciones de vidriado simple o de doble vidriado hermético.

- Normas UNE
 - UNE 43 009 53. Vidrio plano: ensayos de vidrios planos de seguridad.

Ensayos de planicidad.

- UNE 43 017 53. Vidrio. Vidrios de seguridad: resistencia al impacto de una bala sobre vidrios de seguridad de temperatura normal.

- UNE 43 018 53. Vidrio. Vidrio de seguridad: rotura por impacto de una bala sobre vidrios de seguridad a temperatura normal.

1.13. Normas aplicables para la caracterización de los agregados

El agregado forma aproximadamente las tres cuartas partes del volumen del concreto, por lo que la calidad del agregado es de suma importancia y sus propiedades influyen en el desempeño del hormigón como la estabilidad volumétrica, resistencia y durabilidad.

Estos métodos de ensayo indican y describen el procedimiento que se le debe efectuar a los agregados (fino y grueso) que se utilizan para la elaboración de concreto, para determinar si estos cumplen con los parámetros de calidad establecidos en las normas.

1.13.1. Norma Coguanor NTG 41010h1 (ASTM C-136): análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y grueso

Estas especificaciones establecen el método para determinar una graduación adecuada de los agregados (fino y grueso) que se utilizan para elaborar concreto. Esto con el fin de determinar la conformidad por tamaños de las partículas para verificar si estos cumplen con los tamaños establecidos en la norma.

**1.13.2. Norma Coguanor NTG 41010h2 (ASTM C-29):
determinación de la densidad aparente (masa unitaria) e
índice de vacíos en los agregados**

Este método de ensayo se utiliza frecuentemente cuando se desea conocer la densidad aparente de los agregados (fino y grueso) que se requieren al momento de realizar el proporcionamiento de los materiales al efectuar una diseño de mezcla.

Tabla III. **Capacidad del recipiente para determinar la masa unitaria**

Tamaño nominal de los agregados		Capacidad del recipiente	
mm	pulg.	m ³ (L)	pie ³
12,5	½	0,0028 (2,80)	1/10
25,0	1	0,0093 (9,3)	1/3
37,5	1½	0,0014 (14)	½
75	3	0,028 (28)	1
100	4	0,070 (70)	2½
125	5	0,100 (100)	3½

Fuente: Norma Coguanor NTG 41010-h2

Esta Norma es aplicada en agregados de tamaño no mayor a 6" (150 mm), para la masa unitaria de agregados finos, gruesos y mixtos. Esto es en condiciones de material suelto y compactado.

**1.13.3. Norma Coguanor NTG 41010h8 (ASTM C-127):
determinación de la densidad, densidad relativa
(gravedad específica) y absorción del agregado grueso**

- **Importancia y uso**

Este método de ensayo se usa para determinar la densidad de la porción esencialmente sólida de un gran número de partículas de agregado y suministra un valor promedio representativo de la muestra. Debe hacerse una distinción entre la densidad de las partículas de agregado como se determinan por este método, y la densidad global de los agregados como se determina por el método de ensayo NTG 41010h2 (c 29/c 29 M).

- **Muestreo**

La mínima masa de la muestra de ensayo a usar se da a continuación. Se permite el ensayo del agregado grueso en varias fracciones, si la muestra contiene más de 15% retenido en el tamiz de 37,5 mm (1½pulg) ensayar el material mayor de 37,5 mm en una o más fracciones de tamaño separadamente de las fracciones de menor tamaño.

Tabla IV. **Masa mínima respecto al tamaño máximo nominal**

Tamaño máximo mm (Pulg)	Masa mínima de la muestra De ensayo kg (lb)
12,5 (½) o menor	2 (4,4)
19,0 (¾)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1½)	5 (11)
50 (2)	8 (18)
63 (2½)	12 (28)
75 (3)	18 (40)

Continuación de tabla IV.

90 (3½)	25 (55)
100 (4)	40 (88)
125 (59)	75 (165)

Fuente: Norma Coguanor NTG 41010h8.

**1.13.4. Norma Coguanor NTG 41010h9 (ASTM C-128):
determinación de la densidad, densidad relativa
(gravedad específica) y absorción de agua del agregado
fino**

Este método consiste en sumergir durante un lapso de 24 horas una muestra de agregado fino. Luego remover la muestra del agua, secarle el agua de la superficie de las partículas para así determinar la masa. Posteriormente, colocar una porción de la misma en un recipiente graduado, y determinar el volumen de la misma por el método gravimétrico o volumétrico. Finalmente colocar la muestra en el horno para secarla.

Estos procedimientos se realizan para calcular la densidad, densidad relativa y la absorción con base en las formulas indicadas en esta Norma.

**1.13.5. Norma Coguanor NTG 41010h4 (ASTM C-40):
determinación de materia orgánica en los agregados
finos para concreto**

Esta Norma establece un método sencillo para determinar de forma aproximada si el agregado fino que se pretende utilizar en las mezclas de concreto tiene presencia de materia orgánica o impurezas perjudiciales en los

agregados a utilizar. La Norma indica 2 procedimientos, uno utiliza una solución de color estándar y el otro utiliza colores estándar en vidrio.

Este ensayo tiene como fin principal proporcionar un aviso importante de que el agregado fino puede tener presente cantidades perjudiciales de materia orgánica.

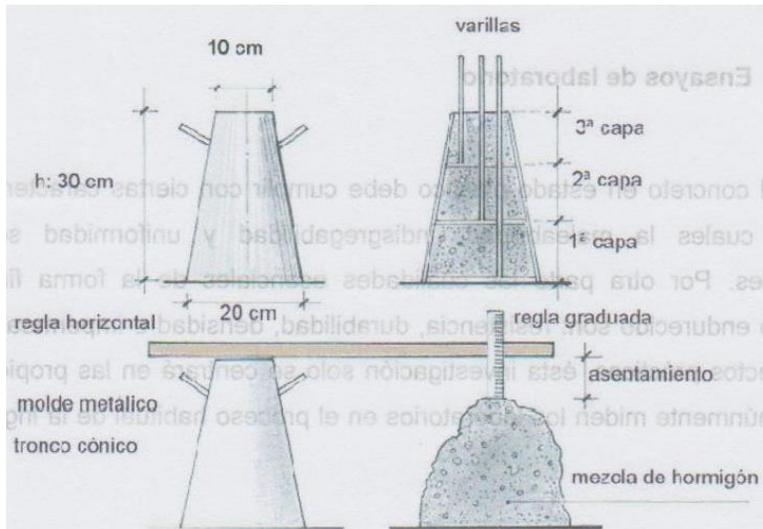
1.14. Ensayos de laboratorio

El concreto en estado plástico debe cumplir con ciertas características, de las cuales la maleabilidad, indisgregabilidad y uniformidad son las principales. Por otra parte las cualidades esenciales de la forma final del concreto endurecido son: resistencia, durabilidad, densidad e impermeabilidad. Para efectos prácticos, esta investigación solo se centrará en las propiedades que comúnmente miden los laboratorios en el proceso habitual de la ingeniería civil.

1.14.1. Norma Coguanor NTG 41052 (ASTM C-143/08): determinación del asentamiento del concreto hidráulico

Este método de ensayo consiste en llenar el cono de abrams, en tres diferentes capas, con una muestra de concreto recién mezclado. En cada una de ellas se utiliza una varilla normada, según especificaciones de Norma para consolidar el material por medio de 25 golpes. Posteriormente con la misma varilla se elimina el exceso de concreto de la parte superior del cono. Finalmente se levanta el cono lentamente de manera vertical y sin ser ladeado. La medida del asentamiento se obtiene al medir la distancia vertical entre la altura original y la desplazada en el centro de la superficie superior del concreto.

Figura 3. **Molde para ensayo del asentamiento**



Fuente: SCANFERLA, Lucas Jordán. *Ensayos de hormigón en estado fresco y endurecido*. p.15.

1.14.2. Norma Coguanor NTG 41017h5 (ASTM C-138): determinación de la densidad aparente (masa unitaria), rendimiento (volumen de concreto producido) y contenido de aire (gravimétrico) del concreto

Esta Norma se refiere a la determinación de la densidad aparente del concreto recién mezclado, para el cual se utiliza una varilla normada, según especificaciones de norma y un recipiente cilíndrico de volumen conocido. El método consiste en llenar el recipiente con mezcla en 3 capas, cada capa se debe consolidar por 25 golpes. Posteriormente con la misma varilla se elimina el exceso de concreto, finalmente se toma el peso del recipiente con material y se anota.

Este ensayo tiene como finalidad proporcionar el rendimiento de concreto, el contenido de cemento y el contenido de aire del concreto.

Tabla V. **Capacidad de los recipientes de medida**

Tamaño máximo del agregado grueso		Capacidad del recipiente	
pulgadas	mm	Pie ³	L
1	25,0	0,2	6
1½	37,5	0,4	11
2	50,0	0,5	14
3	75,0	1,0	28
4½	112,0	2,5	70
6	150,0	3,5	100

Fuente: Norma Coguanor NTG 41017h5.

1.14.3. Norma Coguanor NTG 41053 (ASTM C-1064): medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado.

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

Es aceptable medir la temperatura del concreto recién mezclado, ya sea en el equipo de transporte o en las formaletas. Después de la descarga siempre que el dispositivo medidor de temperatura esté rodeado por al menos 75 mm (3 pulg) de concreto en todas direcciones.

**1.14.4. Norma Coguanor NTG 41017h7 (ASTM C-231):
determinación del contenido de aire del concreto
hidráulico recién mezclado por el método volumétrico**

Este ensayo abarca la determinación del contenido de aire en mezclas de concreto fresco. Esta medición corresponde al aire contenido en la fracción de mortero del concreto, pero no es afectada por el aire que pueda estar presente dentro de las partículas del agregado poroso.

El contenido de aire del concreto endurecido puede ser más alto o más bajo que el contenido de aire determinado por este método de ensayo. Esto depende de los métodos y de las cantidades de esfuerzo consolidación aplicados al concreto del cual se toma el espécimen de concreto endurecido. Además de la uniformidad y estabilidad de las burbujas de aire, tanto en el concreto fresco como en el endurecido.

**1.14.5. Norma Coguanor NTG 41017 h1 (ASTM C-39):
determinación de la resistencia a la compresión de
especímenes cilíndricos de concreto.**

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 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.

Se debe tener cuidado en la interpretación del significado de las determinaciones de resistencia a la compresión por este método de ensayo,

dado que la resistencia no es una propiedad fundamental o intrínseca del concreto hecho de materiales dados. Los valores obtenidos dependerán del tamaño y la forma del espécimen, dosificación, procedimientos de mezclado, métodos de muestreo, moldeo, fabricación y edad, temperatura, y las condiciones de humedad durante el curado.

Tabla VI. **Diámetro máximo de especímenes de ensayo**

Diámetro máximo de Especímenes de ensayo mm (pulg)	Diámetro de la cara de apoyo mm (pulg)
50 (2)	105 (4)
75 (3)	130 (5)
100 (4)	165 (6,5)
150 (6)	255 (10)
200 (8)	280 (11)

Fuente: Norma Coguanor NTG 41017h1.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1. Obtención del vidrio

La obtención de este material se llevó a cabo por medio de 2 procedimientos diferentes. Estos fueron: recolección del vidrio y el otro fue la trituración del mismo.

- **Recolección**

Para obtención del vidrio triturado, que es uno de los materiales necesarios para llevar a cabo esta investigación, primero se hizo una recolección de fragmentos en la vidriería “San Simón”, ubicada en la zona 8 de la ciudad capital. Estos fragmentos se limpiaron para eliminar contaminantes que tuvieran sobre su superficie.

- **Trituración del vidrio**

Esto se hizo con el propósito de dejar el vidrio con el tamaño deseado a utilizarlo en las mezclas de concreto. El proceso consistió en colocar fragmentos de vidrio en el suelo, luego con mazo y otros objetos pesados se fueron golpeando hasta llegar a tener partículas con tamaño no mayor a 3/8” y para obtener la granulometría deseada se pasaron las partículas a través de una malla con aberturas de 3/8”.

2.2. Caracterización de los agregados

Luego de haber comprado los agregados, se procedió a realizarles ensayos para caracterizarlos, de acuerdo a las Normas Coguanor y ASTM.

- Agregado fino

Material granular que pasa por el tamiz de 3/8" (9,5 mm), y casi por completo por el núm. 4 (4,75 mm), y es retenido de modo predominante por el núm. 200 (75 μ m). Este resulta de la desintegración y abrasión naturales de la roca o al procesar arenisca. Este material fue procesado en la planta de Agreca ubicada en Palìn, Escuintla y es un agregado resultado de la trituración de una piedra de basalto.

- Granulometría

Este parámetro se realiza con el objetivo de conocer el módulo de finura, el cual debe estar entre 2,2 y 3,2 para que este dentro de la granulometría especificada por Norma. Este es un valor muy crítico para el diseño de mezcla, ya que si el módulo de finura es inferior a 2,0 indican arenas muy finas de alto costo económico. Mientras que un valor por encima de 3,2 indica arenas muy gruesas, lo que puede generar concretos pocos estables con alta tendencia a la segregación y mezclas muy rígidas no trabajables.

- Masa unitaria

El valor determinado en este ensayo no es una medida de calidad del material, pero es un valor que se utiliza en varios cálculos y análisis, como en el diseño de las proporciones para el concreto y en la conversión de cantidades en

peso a cantidades de volumen. Es obvio que la masa unitaria depende de que tan densamente se comprima el agregado, y variará en función de los siguientes parámetros: forma, tamaño y distribución de las partículas.

- Gravedad específica y absorción

La gravedad específica es un parámetro que se utiliza para calcular el volumen ocupado por el agregado en el diseño de mezclas. También se utiliza en el cálculo de vacíos.

Mientras que la absorción es un valor muy crítico, ya que se utiliza para determinar la humedad absoluta del agregado. Es de suma importancia manejar valores de absorción reales del agregado para evitar pérdidas de asentamiento no relativas al diseño, pues los agregados secos tienden a absorber agua. Esto genera una pérdida de asentamiento en el concreto causado por fallas en el control de calidad de los agregados y no inherente a la calidad del mismo.

- Impurezas orgánicas

Este es un método indirecto para determinar la presencia de impurezas orgánicas en el agregado fino con la finalidad de descartar posibles problemas en el desarrollo de resistencias a edades tempranas y en la aparición de manchas oscuras en elementos de concreto de obra limpia.

2.2.1. Agregado grueso (vidrio)

Material granular que es retenido de modo preponderante por el tamiz núm. 4 (4,75 mm) y que resulta de la desintegración de fragmentos de vidrio de espesores entre 2 mm a 1 cm. Este material fue procesado en la planta de

Agreca ubicada en Palìn, Escuintla y es un agregado resultado de la trituración de una piedra de basalto.

2.2.1.1. Granulometría

Esta se realizó teniendo en cuenta los parámetros establecidos por la Norma Coguanor NTG 41010h1 (ASTM C-136). Consistió en un análisis de separación de partículas para conocer los porcentajes de cada tamaño. Teniendo los porcentajes en cada tamiz, se procedió a graficar los porcentajes retenidos acumulados *versus* aberturas de tamices sobre un gráfico con límites establecidos en la norma.

Esto se realizó con la finalidad de conocer el módulo de finura y tamaño máximo nominal del vidrio. Finalmente se comparó la curva del agregado con la curva límite establecida por la norma para verificar si se cumple con los límites establecidos en la norma.

2.2.1.2. Masa unitaria

Este ensayo se realizó teniendo en cuenta los parámetros establecidos en la Norma Coguanor NTG 41010h2 (ASTM C-29). El ensayo comenzó llenando el medidor con 3 capas apisonando cada una con 25 golpes distribuidos con una varilla normada, según especificaciones de norma, posteriormente completar el llenado acomodando las partículas en los espacios vacíos y rasar la superficie y obtener el peso de la tara más el contenido de material.

2.2.1.3. Gravedad específica

Los criterios utilizados para llevar a cabo este ensayo, se tomaron de la Norma Coguanor NTG 41010h8 (ASTM C-127). Primeramente se lavó el material para remover el polvo u otro sobrante adherido a la muestra. Posteriormente se tomó una probeta y se peso, seguido se le agrego 500 gr. de material más agua y se volvió a pesar. Luego se peso la probeta con agua.

Finalmente el procedimiento anterior se realizó 3 veces y se promedió, para determinar la gravedad específica del vidrio.

2.2.1.4. Impacto

Debido a que no hay ninguna norma que establezca el procedimiento para determinar la resistencia a impacto de vidrio, dicho ensayo se llevo a cabo por medio del sistema donde se ensayan baldosas de cemento líquido. Está ubicada en el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), edificio T-5.

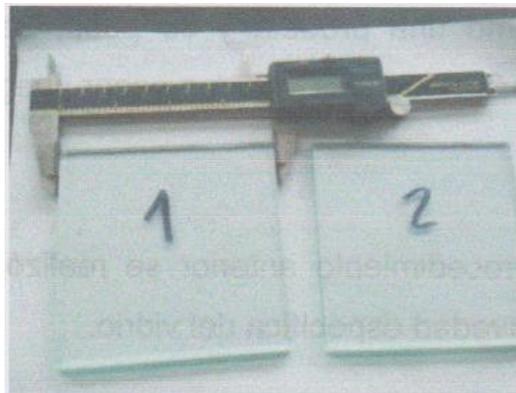
Los ensayos de impacto se utilizan para la determinación del comportamiento del vidrio a velocidades de deformación más altas. La bala en caída libre ayuda a determinar la energía potencial absorbida en el impacto por una probeta, midiendo la altura de elevación de la bala tras el impacto.

El procedimiento para el ensayo es el siguiente:

- Colocar sobre la superficie limpia y plana procurando centrar la probeta para que la bala impacte, en el centro de la misma.

- Comenzar el conteo de golpes desde una altura inicial de 4 cm y se va aumentando la altura cada 0,5 cm.
- Observar a qué altura se quiebra la probeta de vidrio y anotar el dato.

Figura 4. **Medición de probetas a ensayar**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII, edificio T-5.

Figura 5. **Falla por fatiga en probeta**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII, edificio T-5.

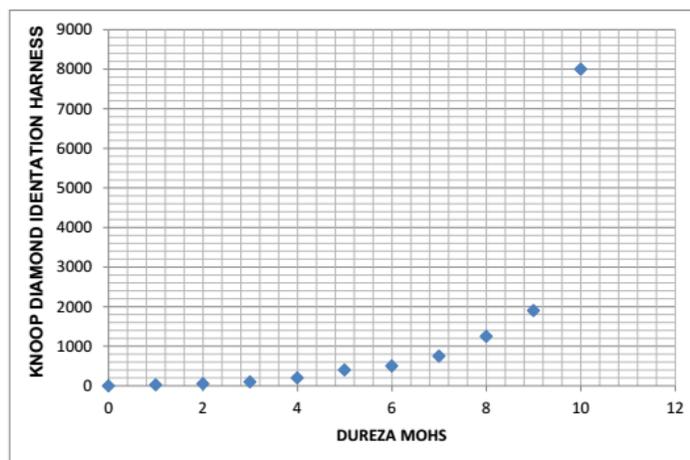
2.2.1.5. Dureza (escala de Mohs)

La dureza es una condición de la superficie del material y no representa ninguna propiedad elemental del material. Comúnmente la dureza se define como la resistencia que ofrece un material a ser rayado o penetrado por otro produciendo huellas en una superficie.

- Dureza de Mohs

Usualmente es utilizada para determinar la dureza de minerales y rocas. Este método consiste en practicar una serie de rayas sobre el mineral u objeto a ensayar con una serie de cuerpos de diferentes durezas. Mohs eligió diez minerales a los cuales les asignó un determinado grado de dureza en su escala, dando origen a la conocida escala de Mohs, empezando con el talco, el cual es el primero y de menor dureza, el diamante por ser el más duro es el décimo.

Figura 6. Gráfica de valores de dureza Mohs



Fuente: Ward'S Natural Science Rochester. *Folleto de lápices de dureza*.p.1.

Tabla VII. **Valores de dureza de Mohs**

Dureza	Mineral	Comentario
1	Talco	Puede rayarse fácilmente con la uña.
2	Yeso	Puede rayarse con la una con más dificultad.
3	Calcita	Puede rayarse con una moneda de cobre.
4	Fluorita	Puede rayarse con un cuchillo de acero.
5	Apatito	Puede rayarse difícilmente con un cuchillo.
6	Ortoclasa	Puede rayarse con una lija para acero.
7	Cuarzo	Raya el vidrio.
8	Topacio	Rayado por herramientas de carburo de wolframio.
9	Corindón	Rayado por herramientas de silicio.
10	Diamante	El mineral más duro conocido.

Fuente: elaboración propia.

El procedimiento para el ensayo se detalla de la siguiente manera:

- Identificar cada una de las probetas de vidrio.
- Cada una de las probetas se coloca sobre una superficie limpia.
- Verificar la dureza de cada una de las probetas de vidrio con un lápiz de dureza graduados, según la escala de Mohs y se anota.

2.3. Diseño del concreto

Este proceso es de vital importancia, ya que se lleva a cabo con el fin de determinar si las proporciones establecidas, por el método de dosificación, utilizado cumplen con las características deseadas. Para ser empleado en la construcción. Sin embargo, esto no significa que el concreto hecho en obra vaya a tener una resistencia uniforme e igual a la requerida.

Lo anterior se debe a que el concreto es un material esencialmente heterogéneo, porque sus componentes tienen características que no son constantes.

2.3.1. Equipo de trabajo

Es el conjunto de herramientas que se utilizaron para llevar a cabo cada una de las actividades que conformaron el proceso de fundición. Esto es desde la medición de los materiales hasta el llenado de los cilindros.

- Moldes: se utilizaron moldes cilíndricos de metal, con las dimensiones de 6"x12", tales como los exige la Norma.
- Mezcladora: se utilizó una mezcladora eléctrica con capacidad de 1 saco y de doble aspa.
- Cono de abrams: determina el asentamiento o trabajabilidad de diseño que debería tener la mezcla.
- Varilla apisonadora: se utilizó una varilla de acero recta de sección circular de 5/8" de diámetro y 24" de longitud. La misma se empleó para apisonar en el ensayo de asentamiento y en el ensayo de peso unitario.
- Balanza: determina la cantidad de material para hacer la mezcla. Las dosificaciones se hicieron por unidades de masa.
- Probetas: se utilizaron 3 probetas para medir la cantidad de agua de diseño que se le agregó a la mezcla.

- Carreta: esta se utilizó para vaciar la mezcla y medir la temperatura.
- Martillos de goma: para golpear los cilindros y consolidar el concreto.
- Termómetro: para medir la temperatura del concreto.
- Tara de 0,075 pie³: determina el peso unitario del concreto, de acuerdo al volumen especificado por Norma.
- Medidor de aire: determina el porcentaje de vacíos en cada mezcla.
- Cucharón: se utilizó para agregar el concreto en los diferentes ensayos que se realizaron.

2.3.2. Proceso de fundición

Consiste en el proceso de mezclar cada uno de los materiales que conformarán la mezcla de concreto, con las cantidades obtenidas en el diseño de mezcla.

2.3.2.1. Proporción de los materiales

Las mezclas fueron diseñadas para alcanzar un asentamiento de 8 ± 2 cm. La mezcla patrón, es decir la mezcla de concreto simple, fue diseñada para alcanzar una resistencia a la compresión de 210 kg/cm^2 (3 000 PSI) según el método del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII). Por lo tanto la relación agua/cemento usada fue de 0,60. De acuerdo a las consideraciones anteriores se obtuvo una proporción en peso aproximada de 1:2,30:2,50:0,60.

Uso	Pavimentos y losas
Asentamiento	8±2 cm
Resistencia	210 kg/cm ²
Cemento	15,38 kg
Agregado fino	35,38 kg
Agregado grueso	38,45 kg
Agua	9,22 l

- Porcentajes de agregado a reemplazar

Los porcentajes a reemplazar se decidieron pensando en que estos serían los más representativos para el estudio. Se decidió reemplazar un 25%, 40%, 50% y 60% de árido constituyente del hormigón, ya que con estos porcentajes se puede determinar los cambios generados, por el vidrio en el hormigón.

Siguiendo los parámetros del estudio se utilizó la misma proporción de 1:2,30:2,50:0,60 para las mezclas con adición de vidrio. Sin embargo para lograr que el asentamiento estuviera dentro de los parámetros establecidos por la norma, fue necesario la adición de menos agua. Por lo que las relaciones agua/cemento en las mezclas con adición de vidrio se modificaron, esto a su vez modificó los valores de resistencia que alcanzó el concreto. Las proporciones teóricas en función de peso muestran a continuación:

Tabla VIII. **Pesos de materiales a utilizar en las mezclas con vidrio**

MEZCLA	CEMENTO kg	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	VIDRIO (kg)	AGUA (l)
1	15,38	35,38	28,84	9,61	9,22
2	15,38	35,38	23,07	15,38	9,22

Continuación de tabla VIII.

3	15,38	35,38	19,23	19,23	9,22
4	15,38	35,38	15,38	23,07	9,22

Fuente: elaboración propia.

2.3.2.2. Diseño práctico de mezcla de concreto

Se realizó utilizando una mezcladora eléctrica y cemento Portland con puzolana que cumple con los requisitos de las normas para cementos hidráulicos ASTM C-1157, el procedimiento realizado se resume de la siguiente manera:

Habiendo pesado los materiales a utilizar, se procedió a realizar la mezcla. Se introdujo primeramente el agregado fino, el agregado grueso, el cemento y el agua dosificada de acuerdo a las condiciones del material dentro de la mezcladora por lapsos de 1,5 minutos entre cada adición. Ya con todos los materiales agregados se dejó que se mezclaran todos por aproximadamente 5 minutos, con el objetivo de obtener una mezcla homogénea. Y en el caso de las mezclas, con adición de vidrio, se procedió a agregar dicho material de igual manera y de la misma forma esperar el tiempo necesario para que la mezcla fuera homogénea.

Posteriormente de que la mezcla se visualizaba que estaba lista, se procedió a realizar la prueba de asentamiento y si esta cumplía con dicho parámetro, se procedía a medir la temperatura, determinar el peso unitario y determinar el porcentaje de vacíos. Finalmente se tenía listo el material para la conformación de los cilindros a utilizar en este estudio.

Figura 7. **Proceso de fundición**



Fuente: edificio Emilio Beltrarena, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería/USAC.

2.3.2.3. Elaboración de los cilindros

Los moldes utilizados para elaborar los cilindros de ensayo fueron de 6” diámetro por 12” de altura, metálicos. En la parte inferior los moldes cuentan con una placa metálica plana, la cual sirve como base. Antes de verter el concreto, los moldes fueron aceitados con el objeto de que no existiera adherencia entre ellos y el concreto, logrando así un desencofrado más fácil.

La mezcla fue vertida en el molde en tres capas de altura aproximadamente igual. Cada capa fue apisonada con un número de 25 golpes, distribuyéndolos de forma uniforme sobre la sección transversal con apisonador metálico de 5/8” de diámetro y con punta esférica.

Posteriormente de apisonar cada capa, el molde se golpeó en los costados, utilizando un martillo de hule y distribuyendo los golpes

uniformemente. Esto con el objetivo de que la mezcla se asentará completamente, la última capa se enrasó utilizando una plancha para alisado de metal.

Figura 8. **Moldes para la elaboración de los cilindros**



Fuente: edificio Emilio Beltrarena, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería/USAC.

2.3.2.4. Desencofrado

Se realizó 24 horas después de haber moldeado las probetas. Ya estando retiradas las probetas de los moldes se procedió a colocar el tipo, número y fecha de ensayo a cada cilindro. Esto con el objetivo de poder identificarlos al momento de ensayarlos.

Figura 9. **Cilindros desencofrados**



Fuente: edificio Emilio Beltrarena, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería/USAC.

2.3.2.5. Curado

En esta investigación se utilizó el curado por inmersión de los especímenes en una pileta con agua saturada con cal. En este tipo de curado, las probetas se colocaron inmersas en agua a temperatura ambiente, después de que hayan pasado 24 horas desde su fabricación y permanecen allí hasta el momento de ensayarlos.

Figura 10. **Curado de las probetas**



Fuente: edificio Emilio Beltrarena, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería/USAC.

2.4. Ensayos de laboratorio

Son pruebas que se realizan para determinar si el concreto en estado fresco y en estado endurecido cumple con ciertos parámetros y criterios de calidad establecidos en las normas.

2.4.1. Concreto fresco

Al principio el concreto parece una masa. Es blando y puede ser trabajado o moldeado en diferentes formas y así se conserva durante la

colocación y la compactación, este estado se conoce plástico. Las propiedades más importantes del concreto fresco son la trabajabilidad y cohesividad.

2.4.1.1. Asentamiento

Este ensayo se realizó teniendo en cuenta los parámetros establecidos en la Norma Coguanor NTG 41052 (ASTM C-143), el ensayo se llevó a cabo cuando se observó que la mezcla era manejable.

La medición del asentamiento se efectuó colocando la varilla de apisonamiento sobre el molde. Posteriormente se midió el descenso producido en el punto central de la base superior con respecto a la altura original y el valor determinado es el asentamiento.

Figura 11. Medición del asentamiento



Fuente: edificio Emilio Beltrarena, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería/USAC.

2.4.1.2. Peso unitario

Este es un ensayo muy sencillo, pero que brinda información sumamente importante. Dicho ensayo consistió en determinar el peso de un volumen conocido de hormigón fresco, compactado en forma normalizada. El peso unitario se realizó conforme a la Norma Coguanor NTG 41014h5(ASTM C-138), para lo cual se utilizó un cilindro con un peso de 2,67 kg y volumen de 7 l.

Esta prueba es una herramienta importante, ya que un peso unitario más bajo al utilizado en el diseño de mezcla, puede indicar que los materiales han cambiado, un mayor contenido de aire, un mayor contenido de agua, un cambio en las proporciones de los materiales o, un menor contenido de cemento. Inversamente, un peso unitario más alto indicará lo contrario de las características del concreto antes mencionadas.

2.4.1.3. Temperatura

Este ensayo se basó en la Norma Coguanor NTG 41053 (ASTM C-1064), consistió en depositar la mezcla en una carreta de metal para posteriormente introducirle un termómetro. Se tiene en cuenta que al menos 3" de concreto cubrieran el censor del termómetro en todas direcciones, la temperatura se midió, luego de que se mantuvo introducido el termómetro por un período de 2 min en la mezcla.

Figura 12. **Medición de la temperatura**



Fuente: edificio Emilio Beltrarena, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería/USAC.

2.4.1.4. Porcentaje de vacíos

Este ensayo se basó en la Norma Coguanor 41017h7 (ASTM C-231), para determinar el porcentaje de vacíos en cada mezcla, se utilizó un recipiente de 7 l y un medidor de aire tipo B.

El ensayo inició colocando el medidor de aire asegurándolo con gran presión, cerrando la válvula de aire entre la cámara de aire y el recipiente. Luego se abrieron las llaves de purga en la tapa. Seguidamente se inyectó agua con una pipeta a través de una llave de purga hasta que el agua emergiera de la llave de purga en el lado opuesto, se golpeó el medidor ligeramente hasta que todo el aire se expelió.

Posteriormente se cerró la válvula de alivio y se comenzó a bombear aire dentro de la cámara hasta que la manecilla en la carátula del manómetro estuviera sobre la línea de la presión inicial. Por último se estabilizó la manecilla del manómetro en la línea de la presión inicial aliviado, bombeando y golpeando

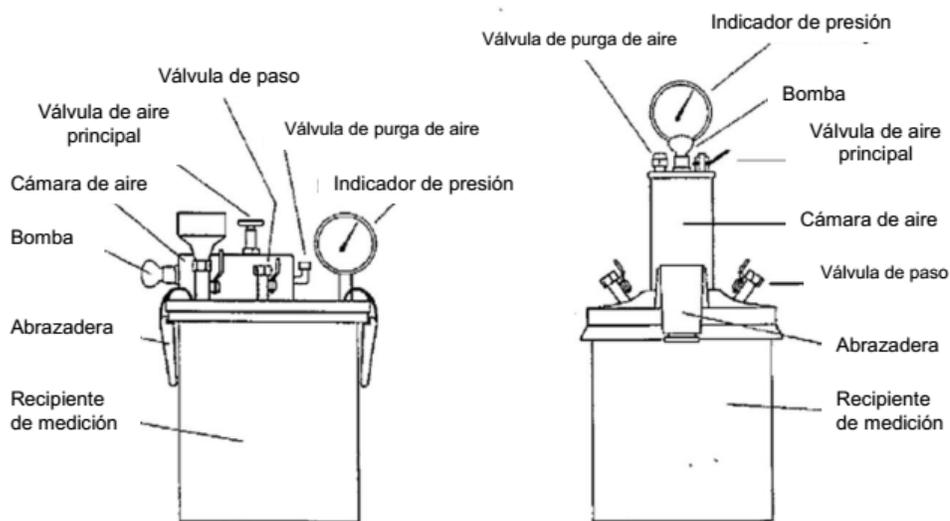
ligeramente el manómetro manualmente, se lee y anota el porcentaje de aire en la caratula del manómetro.

Figura 13. **Medición de vacíos**



Fuente: edificio Emilio Beltrarena, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería/USAC.

Figura 14. **Diagrama esquemático, medidor tipo B**



Fuente: Norma Coganor NTG 41017h7.

2.4.2. Concreto endurecido

Después que el concreto ha fraguado, empieza a ganar resistencia y endurece. Las propiedades del concreto endurecido son resistencia y durabilidad.

2.4.2.1. Contracción en cilindros

Esta consistió en medir con el vernier o pie de rey la altura de cada cilindro. Esto para posteriormente verificar si hubo cambio en las dimensiones respecto a las originales del cilindro.

2.4.2.2. Resistencia a la compresión

Este ensayo se apegó a la Norma Coguanor NGO 41017h1 (ASTM C-39), el mismo se llevó a cabo en la sección de Agregados, Concretos y Morteros del CII/USAC. Previo a realizar la compresión de las muestras, cada una fue pesada e identificada para distinguirlas entre sí. Luego se tomaron mediciones de sus dimensiones (diámetro y altura) utilizando un vernier o pie de rey con una aproximación de 0,1 mm.

Además se identificó cada probeta con la edad a ensayar, es decir a los 3, 7 y 28 días.

El procedimiento establecido en la Norma para la realización de este ensayo, es el siguiente:

- El cilindro debe ser elaborado de acuerdo a la Norma ASTM C-31 (práctica normalizada para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto).
- Hacer las mediciones de las dimensiones del cilindro de acuerdo a la Norma.
- Pesar e identificar los especímenes.
- Luego se coloca el espécimen sobre el centro de la base inferior de la máquina, para ser ensayado.
- Se realiza el ensayo, cargando el espécimen hasta la carga de ruptura.
- Anotar la carga máxima que soporta el espécimen.

Figura 15. **Falla cono y clivaje en cilindro**



Fuente: edificio Emilio Beltrarena, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería/USAC

3. TABULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Ensayos físicos del agregado fino

Las tablas que se muestran a continuación representan los resultados de los análisis físicos que se le realizaron al agregado fino. Este fue utilizado para la elaboración de los diferentes diseños de mezcla.

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

Peso Específico	2,66
Peso unitario compactado (kg/cm ³)	1 810,00
Peso unitario suelto (kg/cm ³)	1 660,00
Porcentaje de vacíos (%)	32,00
Porcentaje de Absorción (%)	0,70
Contenido de Materia Orgánica	1
Pasa tamiz núm. 200 (%)	4,80
Retenido tamiz 6,35 (%)	0,00
Módulo de Finura	2,62

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Granulometría del agregado fino**

Tamiz No.	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,15	FONDO
Porcentaje que pasa	100,00	88,00	72,00	41,00	25,00	12,00	0,00

Fuente: elaboración propia.

3.2. Ensayos físicos del vidrio

A continuación se detallan los resultados obtenidos de los análisis físicos que se le realizaron al vidrio triturado. Esto es para compararlos con los del agregado grueso verificando si cumplen con los parámetros de calidad establecidos en las normas.

- Ensayos físicos del agregado grueso

Las tablas que se muestran a continuación, representan los resultados de los análisis físicos que se le realizaron al piedrín utilizado para la elaboración de los diferentes diseños de mezcla.

Tabla XI. **Características físicas del agregado grueso**

Peso Específico	2,66
Peso unitario compactado (kg/cm ³)	1 470,00
Peso unitario suelto (kg/cm ³)	1 340,00
Porcentaje de absorción (%)	0,80
Pasa tamiz núm. 200 (%)	1,00
Porcentaje de vacíos (%)	45,00
Módulo de finura	5,89

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Granulometría del agregado grueso**

Tamiz No.	1½"	1"	¾"	½"	3/8"	núm.4	núm.8	núm.16
Porcentaje que pasa	100,00	100,00	100,00	100,00	97,00	14,00	0,00	0,00

Fuente: elaboración propia.

- Ensayos físicos para vidrio

En las siguientes tablas que se muestra a continuación, se indican los resultados de los análisis que se le realizaron al vidrio.

Tabla XIII. **Características físicas del vidrio**

Peso Específico	2,52
Peso unitario compactado (kg/cm ³)	1 510,00
Peso unitario suelto (kg/cm ³)	1 490,00
Porcentaje de absorción	0,00
Porcentaje de vacíos (%)	0,00
Pasa tamiz núm. 200 (%)	0.00
Retenido tamiz 6,35 (%)	66,20
Módulo de finura	5,89

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Granulometría del vidrio**

Tamiz No.	9,50	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,15
Porcentaje que pasa	94,80	6,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

Fuente: elaboración propia.

3.3. Datos del diseño de mezcla

Puede definirse como el proceso para seleccionar los componentes adecuados del concreto y determinar las cantidades relativas. El fin es producir lo más económicamente posible, concreto con ciertas características, principalmente consistencia, resistencia y durabilidad.

- Diseño de mezcla

El diseño de las 5 mezclas fueron basadas en los parámetros establecidos por el método del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII).

Los cálculos para determinar la cantidad de material a utilizar en cada mezcla se realizó de la siguiente manera:

$$\text{Asentamiento} = 8 \text{ cm} \qquad \text{Agua} = 225 \text{ l/m}^3$$

$$\text{TMN} = 3/8''$$

$$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$a/c = 0,60 \longrightarrow c = 225/0,60$$
$$c = 375 \text{ kg/m}^3$$

Se utilizará un peso unitario de $2\,400 \text{ kg/m}^3$ para este diseño.

$$W_{agr} = 2\,400 - (225 + 375)$$

$$W_{agr} = 1\,800 \text{ kg/m}^3$$

$$\% \text{ Agregado fino} = 0,48 * 1\,800$$

$$\% \text{ Agregado fino} = 864 \text{ kg/m}^3$$

$$\% \text{ Agregado grueso} = 1\,800 - 864$$

$$\% \text{ Agregado grueso} = 936 \text{ kg/m}^3$$

Cantidades

$$\text{Cemento} = 375 \text{ kg/m}^3$$

Agregado fino = 864 kg/m^3

Agregado grueso = 936 kg/m^3

Agua = 225 kg/m^3

Proporción en peso

$$\frac{375}{375} : \frac{864}{375} : \frac{936}{375} : \frac{225}{375}$$

Cemento: agregado fino: agregado grueso: agua

1:2,30:2,50:0,60

Para determinar la cantidad de concreto a fundir por bachada, se contempló elaborar 7 cilindros. Estos ocuparían un volumen de 0,041 metros cúbicos por bachada. La cantidad de material que se utilizará para fundir cada bachada se calculó de la siguiente manera:

- Mezcla patrón

1:2,30:2,50:0,60

$$\text{Cemento} = 375 * 0,041 = 15,38 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado fino} = 15,38 * 2,30 = 35,38 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado grueso} = 15,38 * 2,50 = 38,45 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 15,38 * 0,60 = 9,22 \text{ l}$$

La dosificación en las mezclas con vidrio, se realizó con base en la dosificación de la mezcla patrón, reemplazando los porcentajes de agregado grueso por porcentajes de vidrio. Se utilizó este mismo criterio, ya que la densidad del vidrio es similar a la del agregado grueso.

- Mezcla 1 (25% de vidrio)

1:2,30:2,50:0,60

$$\begin{aligned}\text{Cemento} &= 375 \cdot 0,041 = 15,38 \text{ kg} \\ \text{Agregado fino} &= 15,38 \cdot 2,30 = 35,38 \text{ kg} \\ \text{Agregado grueso} &= 15,38 \cdot 2,50 \cdot 0,75 = 28,84 \text{ kg} \\ \text{Vidrio} &= 15,38 \cdot 2,50 \cdot 0,25 = 9,61 \text{ kg} \\ \text{Agua} &= 15,38 \cdot 0,60 = 9,22 \text{ l}\end{aligned}$$

- Mezcla 2 (40% de vidrio)
1:2,30:2,50:0,60

$$\begin{aligned}\text{Cemento} &= 375 \cdot 0,041 = 15,38 \text{ kg} \\ \text{Agregado fino} &= 15,38 \cdot 2,30 = 35,38 \text{ kg} \\ \text{Agregado grueso} &= 15,38 \cdot 2,50 \cdot 0,60 = 23,07 \text{ kg} \\ \text{Vidrio} &= 15,38 \cdot 2,50 \cdot 0,40 = 15,38 \text{ kg} \\ \text{Agua} &= 15,38 \cdot 0,60 = 9,22 \text{ l}\end{aligned}$$

- Mezcla 3 (50% de vidrio)
1:2,30:2,50:0,60

$$\begin{aligned}\text{Cemento} &= 375 \cdot 0,041 = 15,38 \text{ kg} \\ \text{Agregado fino} &= 15,38 \cdot 2,30 = 35,38 \text{ kg} \\ \text{Agregado grueso} &= 15,38 \cdot 2,50 \cdot 0,50 = 19,23 \text{ kg} \\ \text{Vidrio} &= 15,38 \cdot 2,50 \cdot 0,50 = 19,23 \text{ kg} \\ \text{Agua} &= 15,38 \cdot 0,60 = 9,22 \text{ l}\end{aligned}$$

- Mezcla 4 (60% de vidrio)
1:2,30:2,50:0,60

$$\begin{aligned}\text{Cemento} &= 375 \cdot 0,041 = 15,38 \text{ kg} \\ \text{Agregado fino} &= 15,38 \cdot 2,30 = 35,38 \text{ kg} \\ \text{Agregado grueso} &= 15,38 \cdot 2,50 \cdot 0,40 = 15,38 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\text{Vidrio} = 15,38 \cdot 2,50 \cdot 0,60 = 23,07 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 15,38 \cdot 0,60 = 9,22 \text{ l}$$

3.4. Cálculos realizados

Luego de haber realizado los ensayos pertinentes que se plantearon para desarrollar esta investigación, fue necesario realizar los cálculos. Esto para interpretar y dar significado a los resultados obtenidos en el laboratorio.

3.4.1. Peso específico

Este se define como la cantidad de peso contenido en una unidad de volumen. El peso unitario se calcula con la siguiente fórmula:

$$P. U. = \frac{P. B. - TARA}{V}$$

Donde:

P.U. = peso unitario

P.B.= peso bruto (tara + mezcla)

V= volumen del recipiente

- Mezcla patrón

$$TARA = 2,67 \text{ kg}$$

$$Vol_{TARA} = 0,007 \text{ m}^3$$

$$P.B. = 19,13 \text{ kg}$$

$$P. U. = \frac{19,13 - 2,67}{0,007} = 2\,351,43 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- Mezcla 1 (25% de vidrio)

TARA = 2,67 kg

Vol_{TARA} = 0,007 m³

P.B. = 19,18 kg

$$P.U. = \frac{19,18 - 2,67}{0,007} = 2\,358,57 \frac{kg}{m^3}$$

- Mezcla 2 (40% de vidrio)

TARA = 2,67 kg

Vol_{TARA} = 0,007 m³

P.B. = 19,09 kg

$$P.U. = \frac{19,09 - 2,67}{0,007} = 2\,345,71 \frac{kg}{m^3}$$

- Mezcla 3 (50% de vidrio)

TARA = 2,67 kg

Vol_{TARA} = 0,007 m³

P.B. = 19,14 kg

$$P.U. = \frac{19,14 - 2,67}{0,007} = 2\,352,86 \frac{kg}{m^3}$$

- Mezcla 4 (60% de vidrio)

TARA = 2,67 kg

Vol_{TARA} = 0,007 m³

P.B. = 19,13 kg

$$P.U. = \frac{19,13 - 2,67}{0,007} = 2\,351,43 \frac{kg}{m^3}$$

3.4.2. Porcentaje de vacíos

Este se obtuvo de forma directa por medio de la utilización de un medidor de vacíos tipo B.

Mezcla Patrón= 1,4%

Mezcla con 25% de vidrio= 1,1%

Mezcla con 40% de vidrio= 1,6%

Mezcla con 50% de vidrio= 1,6%

Mezcla con 60% de vidrio= 1,4%

3.4.3. Resistencia a la compresión

Se calculó mediante la división de la carga máxima soportada y registrada en el dial de la máquina, dentro del área promedio de la sección transversal de cada probeta. Para este procedimiento se utilizó la siguiente fórmula:

$$f_c = \frac{P_{max}}{A_t}$$

Donde:

P_{max} = carga máxima soportada por la probeta

A_t = área transversal promedio, calculada mediante:

$$A_t = \frac{\pi * \Phi_p^2}{4}$$

Φ_p = diámetro promedio de la probeta

3.5. Análisis de resultados (con vidrio y agregado grueso)

A continuación se presenta el análisis de la información recopilada de los ensayos realizados al concreto fresco y endurecido. Se tiene en cuenta los parámetros establecidos según las normas utilizadas.

3.5.1. Ensayo de asentamiento

En este ensayo se obtuvieron asentamientos entre 6 cm y 8,5 cm. Los resultados correspondieron a mezclas con una buena trabajabilidad y manejabilidad. Las mezclas que tuvieron el menor asentamiento fueron las que tenían adición de vidrio, a pesar de eso fueron muy manejables al momento de realizarles ensayos. Este asentamiento indicó que las mezclas tienen menos trabajabilidad y se puede complicar su colocación.

3.5.2. Ensayo de peso específico

Analizando los resultados de las mediciones de las mezclas realizadas, se puede decir que los pesos obtenidos no muestran una variación significativa entre ellos y el valor teórico que se asumió al momento de realizar la proporción de la mezcla. Las variaciones que se presentan pueden deberse a la diferencia

de pesos de los materiales utilizados o por un mal proceso de compactación al momento de llenado de los cilindros.

También se logró observar que en las proporciones evaluadas, al sustituir un porcentaje de vidrio igual al 25 %. Dicha mezcla presenta el mayor peso de todas.

3.5.3. Ensayo de medición de la temperatura

Al momento de analizar las mediciones de temperatura de la mezcla patrón y compararla con las mezclas. A estas se les sustituyo cierto porcentaje de agregado natural por vidrio, se observó una pequeña variación de temperatura entre ellas. La variación entre la mezcla patrón y las otras es de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, lo cual indica que al momento de sustituir el agregado natural en las mezclas. La temperatura es una característica que no se ve afectada a grandes rasgos.

3.5.4. Ensayo de porcentaje de vacíos

Al analizar el porcentaje de vacíos de la mezcla patrón y hacer una comparación con las distintas mezclas realizadas, se puede observar que todas las mezclas obtuvieron un valor esperado, esto en base al asentamiento teórico utilizado en el diseño de mezcla. Al igual que en la medición de la temperatura, el porcentaje de vacíos entre una mezcla y otra muestran una pequeña variación. Esto indica que la resistencia de las mezclas con adición de vidrio al igual que la patrón no se verán afectadas por esta cantidad de aire tan indeseable, ya que si el porcentaje de vacíos hubiera sido mayor del 3%, la resistencia de las mezclas se hubiera visto afectada en un 15 o 20%.

3.5.5. Ensayo de resistencia a compresión

Con base en los ensayos efectuados, se logro observar que al sustituir vidrio a las mezclas de concreto, la resistencia se va reduciendo significativamente conforme se va aumentando la cantidad de vidrio. Esto se debió a las sustituciones realizadas, ya que por la textura lisa que posee este material no hay cohesión entre la matriz cementante y el vidrio, siendo esta la mayor causa por la cual las mezclas redujeron la resistencia. Ya que las demás características como se observa en la tabla XV no se vieron afectadas a grandes rasgos.

En la figura 16, se muestra el comportamiento mecánico de las resistencias a compresión de los cilindros que se ensayaron a edades de 3, 7 y 28 días. Al hacer el análisis de la resistencia del concreto endurecido con respecto al tiempo, se observó que la resistencia de la mezcla patrón, fue superada por 1 mezcla, siendo la mezcla con 40% de vidrio en los primeros 14 días, mientras que las otras fueron reduciendo la resistencia con el paso de los días. Para los propósitos de esta investigación se buscó que los testigos demostraran que todas las mezclas tuvieran una resistencia a la compresión con valores aproximados entre sí. De modo que la única variante entre una mezcla y otra fuera la cantidad de vidrio a sustituir. Con esto se afinó la veracidad de los resultados obtenidos en el laboratorio.

Al realizar la comparación de la resistencia a compresión de las 4 mezclas con la patrón, la cual obtuvo una resistencia igual a $217,39 \text{ kg/cm}^2$, se observa que la menos sobresaliente fue la mezcla al 60% de vidrio, la cual obtuvo una reducción de la resistencia de 29,31%. La característica más notoria que presentaron las mezclas con vidrio fue que se vuelven muy frágiles,

es decir, muy quebradizas y se desboronan al momento de que el concreto falla.

3.6. Resumen de resultados

En las siguientes tablas se muestra los resultados obtenidos de los diferentes ensayos que se realizaron al concreto en estado fresco y endurecido. El fin es determinar si es factible el uso de vidrio triturado como forma alternativa de agregado grueso en mezclas de concreto.

Tabla XV. **Parámetros medidos en las mezclas**

MEZCLA PATRÓN			
Agua= 9 l.			
Peso unitario (kg/m ³)	Temperatura (°C)	% vacíos	Asentamiento (cm)
2 351,43	21,5	1,4	8,5
MEZCLA CON 25% DE VIDRIO			
Agua= 8,75 l.			
Peso unitario (kg/m ³)	Temperatura (°C)	% vacíos	Asentamiento (cm)
2 358,57	17,0	1,1	7,0
MEZCLA CON 40% DE VIDRIO			
Agua= 8 l.			
Peso unitario (kg/m ³)	Temperatura (°C)	% vacíos	Asentamiento (cm)
2 345,71	21,0	1,6	7,5
MEZCLA CON 50% DE VIDRIO			
Agua= 7.7 l.			
Peso unitario (kg/m ³)	Temperatura (°C)	% vacíos	Asentamiento (cm)
2 352,86	22,0	1,6	6,0
MEZCLA CON 60% DE VIDRIO			
Agua= 7,4 l.			
Peso unitario (kg/m ³)	Temperatura (°C)	% vacíos	Asentamiento (cm)
2 351,43	22,0	1,4	6,0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Esfuerzos en mezcla patrón**

EDAD DE RUPTURA	FECHA ENSAYO	ϕ_p	h_p	ÁREA (cm ²)	P (kg)	σ (kg/cm ²)	σ_p (kg/cm ²)
3	15/10/2015	15,16	30,28	180,39	20 408,16	113,14	111,66
	15/10/2015	15,19	30,19	181,10	19 954,65	110,19	
7	19/10/2015	15,10	30,25	178,96	30 385,49	169,79	162,08
	19/10/2015	15,11	30,29	179,20	27 664,40	154,38	
28	09/11/2015	15,25	30,45	182,53	38 548,75	211,19	217,39
	09/11/2015	15,33	30,32	184,58	41 269,84	232,59	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Esfuerzos en mezcla con 25% de vidrio**

EDAD DE RUPTURA	FECHA ENSAYO	ϕ_p	h_p	ÁREA (cm ²)	P (kg)	σ (kg/cm ²)	σ_p (kg/cm ²)
3	22/01/2016	15,22	30,16	181,82	14 512,47	79,82	76,13
	22/01/2016	15,21	30,18	181,58	13 151,93	72,43	
7	26/01/2016	15,27	30,17	183,13	24 943,31	136,20	134,46
	26/01/2016	15,19	30,23	181,10	24 036,28	132,72	
28	26/01/2016	15,15	30,23	180,27	36 281,18	201,26	207,55
	26/01/2016	15,15	30,17	180,27	38 548,75	213,84	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Esfuerzos en mezcla con 40% de vidrio**

EDAD DE RUPTURA	FECHA ENSAYO	ϕ_p	h_p	ÁREA (cm ²)	P (kg)	σ (kg/cm ²)	σ_p (kg/cm ²)
3	02/11/2015	15,21	30,17	181,70	21 315,19	117,31	127,84
	02/11/2015	15,15	30,30	180,27	24 943,31	138,37	
7	06/11/2015	15,22	30,02	181,94	26 303,85	144,58	148,42
	06/11/2015	15,21	30,10	181,70	27 664,40	152,26	
28	28/11/2015	15,29	30,43	183,49	36 734,69	200,20	197,48
	28/11/2015	15,28	30,26	183,37	35 714,29	194,76	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Esfuerzos en mezcla con 50% de vidrio**

EDAD DE RUPTURA	FECHA ENSAYO	ϕ_p	h_p	ÁREA (cm ²)	P (kg)	σ (kg/cm ²)	σ_p (kg/cm ²)
3	15/10/2015	15,23	30,31	182,06	26 303,85	144,48	117,58
	15/10/2015	15,20	30,32	181,46	25 396,83	139,96	
7	19/10/2015	15,19	30,51	181,10	35 374,15	195,33	133,24
	19/10/2015	15,12	30,27	179,43	34 920,63	194,61	
28	09/11/2015	15,26	30,35	182,89	48 752,83	266,56	182,80
	09/11/2015	15,27	30,15	183,01	46 485,26	254,00	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Esfuerzos en mezcla con 60% de vidrio**

EDAD DE RUPTURA	FECHA ENSAYO	ϕ_p	h_p	ÁREA (cm ²)	P (kg)	σ (kg/cm ²)	σ_p (kg/cm ²)
3	02/11/2015	15,18	30,27	180,98	19 274,38	106,50	107,34
	02/11/2015	15,15	30,46	180,27	19 501,13	108,18	
7	06/11/2015	15,24	30,26	182,30	21 541,95	118,17	118,29
	06/11/2015	15,22	30,23	181,94	21 541,95	118,40	
28	28/11/2015	15,22	30,27	181,94	33 163,27	182,28	168,11
	28/11/2015	15,24	30,39	182,30	28 061,22	153,93	

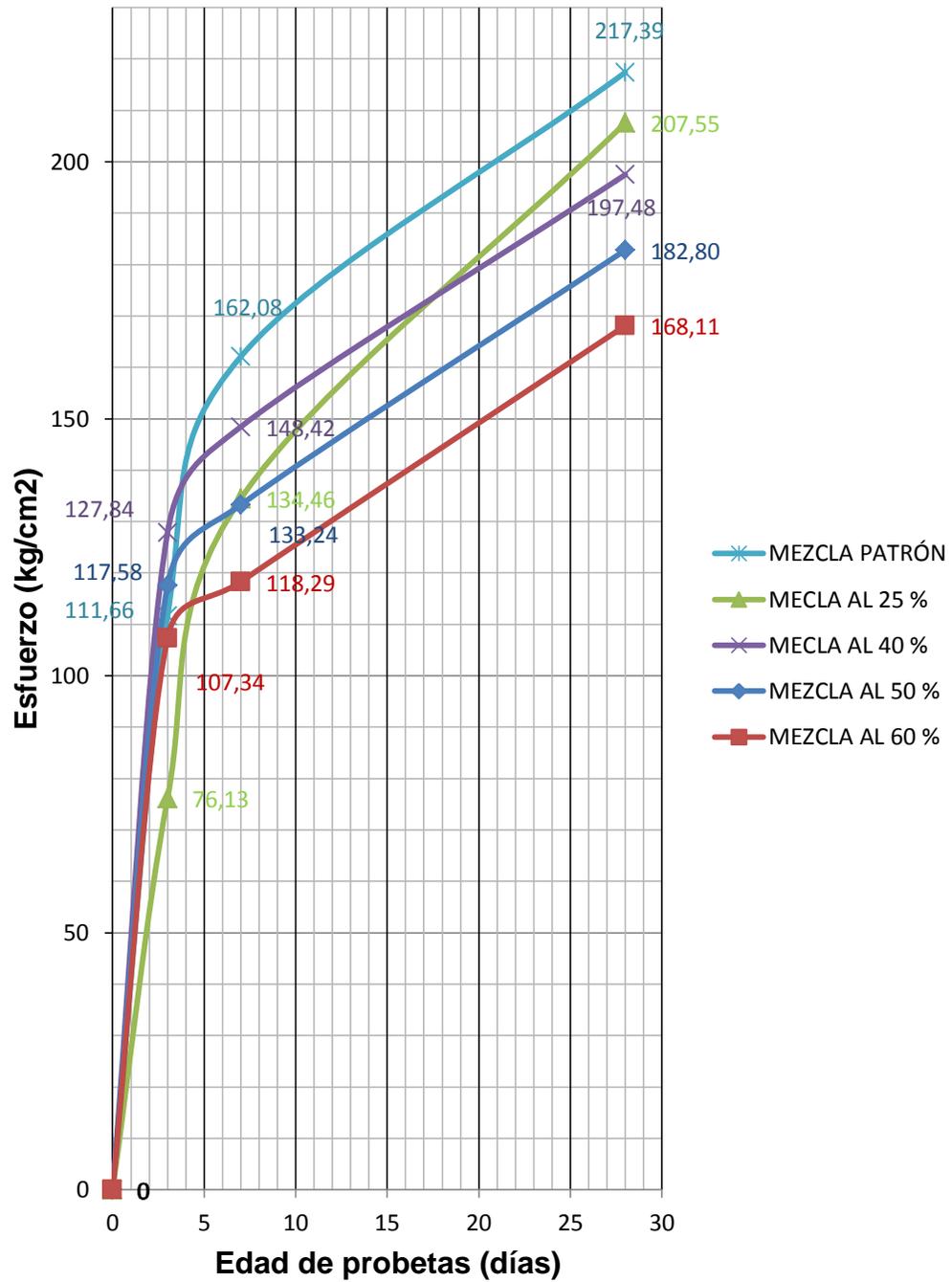
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Resistencia respecto a la relación agua/cemento**

	Patrón	25% vidrio	40% vidrio	50% vidrio	60% vidrio
Cemento	15,38	15,38	15,38	15,38	15,38
Arena	35,38	35,38	35,38	35,38	35,38
Piedrín	38,45	28,84	23,07	19,23	15,38
Vidrio	0,00	9,61	15,38	19,23	23,07
Agua	9,00	8,75	8,00	7,7	7,4
a/c	0,59	0,57	0,52	0,50	0,48
Resistencia	217,39	207,55	197,48	182,8	168,11

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Gráfica de esfuerzo a compresión en cilindros**



Fuente: elaboración propia.

3.7. Interpretación de resultados

Es darle un significado a los resultados obtenidos con base en los estudios que conforman la investigación y tomando en cuenta los parámetros establecidos en las normas.

- **Asentamiento**

Por medio de este ensayo se logró observar que al ir aumentando los porcentajes de vidrio el asentamiento disminuye. Esto indica que al sustituir porcentajes arriba del 60% este valor quedaría fuera del parámetro de calidad establecido en norma. También generaría un concreto muy pastoso y estable, dando resultado a una mezcla poco trabajable y con dificultad para su colocación.

- **Peso unitario**

Como se observa en la tabla XV, el peso unitario de cada una de las mezclas es bajo en un pequeño porcentaje en comparación al valor teórico utilizado en el diseño de mezcla. Esto indica en general que hubo un sobrendimiento, lo que quiere decir que el contenido de cemento requerido para un metro cúbico será menor para producir un mayor volumen de concreto. Por lo tanto era de esperarse que las resistencias fueran menores a la resistencia esperada en algunas mezclas.

- Medición de la temperatura

Este parámetro indica que el concreto desarrollará la resistencia adecuada y que fraguará en un tiempo normal. Además indica que disminuirá el riesgo de fisuración plástica.

A la vez indican que si el concreto es colocado y curado a temperaturas óptimas, desarrollará su resistencia a una tasa más lenta, pero finalmente tendrá la resistencia esperada y será un concreto de mayor calidad.

- Porcentaje de vacíos

Este parámetro primeramente indica que los materiales utilizados fueron bien mezclados, al igual que no es una buena solución para utilizarlo en situaciones de cambios climáticos bruscos. Estos son los ciclos de congelación y deshielo y mucho menos a químicos descongelantes. Lo anterior por el bajo contenido de aire contenido en las mezclas.

- Resistencia a la compresión

Este parámetro indicó que al sustituir vidrio en porcentajes, se van obteniendo mezclas con poca manejabilidad y con una reducción en la resistencia muy notoria. Esto sin que se vea afectada la temperatura al igual que el peso específico, y esto se debe a que hay una gran falta de adherencia entre el vidrio y la pasta de cemento. Esto al momento de que el elemento es sometido a esfuerzos de compresión, la transmisión de esfuerzos entre los agregados y la matriz cementante no es la debida, haciendo que el elemento colapse ante un esfuerzo menor al de diseño.

3.8. Tipos de fallas en los especímenes ensayados

Las fallas que se observaron en los cilindros ensayados fueron 3. Estas corresponden al tipo corte, cono y clivaje, y columnar para la mezcla patrón al igual que para las mezclas con sustituciones de vidrio, como se observa en la tabla XXI. Cabe resaltar que la falla del tipo cono y clivaje fue la más común en las mezclas con porcentajes de vidrio sustituido.

La falla de cono y clivaje se debió a una aplicación de carga no uniforme causada por desviaciones en los extremos de las probetas. Esto llevó a que el espécimen comenzará a fallar en forma de cono perfecto, pero conforme se aumento la carga las desviaciones en las caras causaron que la carga se concentrara en un solo punto causando una división de la probeta, cuando se comenzaba a formar el cono. Se destaca que este tipo de falla, en los cilindros con porcentajes de vidrio, es la misma que ocurre en los cilindros con agregado natural.

Figura 17. Falla en cilindro con porcentaje de vidrio



Fuente: edificio Emilio Beltrarena, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería/USAC.

Figura 18. **Falla columnar en cilindro con 50% de vidrio**



Fuente: edificio Emilio Beltrarena, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería/USAC.

Figura 19. **Falla de cono y clivaje**



Fuente: edificio Emilio Beltrarena, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería/USAC.

Tabla XXII. **Fallas en cilindros**

MEZCLA	NO. CILINDRO	FALLA
PATRÓN	1	CORTE
	2	CONO Y CLIVAJE
	1	CORTE
	2	
	1	COLUMNAR
	2	CONO Y CLIVAJE
25% DE VIDRIO	1	CONICA
	2	
	1	CORTE
	2	CONO Y CLIVAJE
	1	
	2	CORTE
40% DE VIDRIO	1	CONO Y CLIVAJE
	2	
	1	
	2	
	1	COLUMNAR
	2	CONO Y CLIVAJE
50% DE VIDRIO	1	COLUMNAR
	2	CORTE
	1	CONO Y CLIVAJE
	2	
	1	
	2	
60% DE VIDRIO	1	CONO Y CLIVAJE
	2	
	1	
	2	
	1	
	2	

Fuente: elaboración propia.

En el caso de la falla por corte, se debió a que cuando se les aplicó la carga a los especímenes, la cara se encontraba en el límite de tolerancia

especificada y en otros las caras estaban excedidas del parámetro establecido por la Norma Coguanor NTG 41014h1 (ASTM C-39).

Figura 20. **Falla de corte en cilindro con 25% de vidrio**



Fuente: edificio Emilio Beltrarena, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería/USAC.

Por último la falla de tipo columnar se presentó por la posible existencia de concentraciones de esfuerzos en puntos críticos. Esto a causa de deficiencias del material de cabeceo o por convexidad en una de las placas de carga.

Figura 21. **Falla del tipo columnar en cilindro de mezcla patrón**



Fuente: edificio Emilio Beltrarena, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería/USAC.

3.9. Efectos del vidrio en el concreto

El efecto más notable que se logró observar al sustituir vidrio en las mezclas de concreto, fue la reducción de la resistencia a la compresión. Esto se debe a la falta de adherencia entre la matriz cementante y el agregado reciclado, lo que impediría que los materiales trabajaran de manera adecuada. La resistencia del concreto normal como lo es el presente, depende más de lo anterior descrito que de la propia resistencia de los agregados. También se notó que las demás características como: el peso unitario, porcentaje de vacíos y temperatura de las mezclas no se vieron afectadas a grandes rasgos, sino solo hubo una pequeña variación entre la mezcla patrón y las otras mezclas como se indica en la tabla XV.

Por el lado reactivo se observó que el vidrio triturado no causó daños a pesar de su composición química. Esto se puede afirmar, ya que 2 cilindros de la mezcla con 40% y 60% de vidrio se almacenaron durante un período de 110 días y por el lado físico no se presento ningún efecto visible, como por ejemplo agrietamiento mapeado o rompecabezas. Esto a pesar de que el vidrio es un material altamente silíceo.

Figura 22. **Cilindros almacenados**



Fuente: edificio Emilio Beltrarena Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería/USAC.

CONCLUSIONES

1. En una mezcla de concreto, al sustituir el árido natural con diferentes porcentajes de vidrio, las características físicas y propiedades mecánicas sí cambian.
2. Al sustituir vidrio en las mezclas de concreto, estas se vuelven muy pastosas y estables, pero con mala fluidez. Este comportamiento se debe al hecho que los fragmentos de vidrio triturado son más angulosos y lisos, elevando los requerimientos de pasta a valores que impactan negativamente la economía de la mezcla.
3. Al aumentar el porcentaje de vidrio el asentamiento disminuye, lo cual indica que al sustituir porcentajes de vidrio arriba del 60% este valor quedaría fuera del parámetro de calidad establecido en la norma.
4. La gravedad específica del agregado pétreo era similar a la gravedad específica del vidrio. por ello al mezclar los dos materiales, el peso unitario entre una mezcla y otra, no tuvo una gran variación.
5. Este tipo de mezclas se limita a usos no estructurales, como lo son aceras, banquetas, rellenos, cunetas, entre otros usos, siempre y cuando el concreto no sea sometido a esfuerzos que provoquen la falla del mismo.

RECOMENDACIONES

1. Investigar sobre otros tipos de materiales que se podrían utilizar como agregados reciclados en mezclas de concreto.
2. Evitar las sustituciones de porcentajes de vidrio mayores al 50%, ya que el concreto se vuelve muy frágil.
3. Usar un material reciclado que sea lo menos angulosos posible, ya que impacta de forma negativa a la mezcla de concreto.
4. Cuando se desee elaborar mezclas con sustituciones de vidrio verificar que el asentamiento este dentro del valor mínimo o máximo del establecido en norma.
5. Siempre que se lleve a cabo el ensayo de peso unitario tomar en cuenta los parámetros establecidos en la Norma, para que el valor obtenido sea confiable.
6. Tener presente que este tipo de concreto no cumple con las características físico-mecánicas de un concreto estructural.

BIBLIOGRAFÍA

1. Coguanor .*NTG 41010h1 (ASTM C-136).Análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y grueso.* [en línea]. <www.iccg.org.gt/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg>. [Consulta: mayo de 2016].
2. _____.*41010h2 (ASTM C-29).Determinación de la densidad aparente (masa unitaria) e índice de vacíos en los agregados.*[en línea]. <www.iccg.org.gt/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg>. [Consulta: mayo de 2016].
3. _____. *41010h4 (ASTM C-40).Determinación de materia orgánica en los agregados finos para concreto.* [en línea]. <www.iccg.org.gt/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg>. [Consulta: mayo de 2016].
4. _____. *41010h8 (ASTM C-127).Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agua del agregado grueso.*[en línea]. <www.iccg.org.gt/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg>. [Consulta: mayo de 2016].

5. _____.41010h9 (ASTM C-128).*Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agua del agregado fino.* [en línea]. <www.iccg.org.gt/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg>. [Consulta: mayo de 2016].
6. _____.41014h7.*Determinación del contenido de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método de presión.*[en línea]. <www.iccg.org.gt/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg>. [Consulta: mayo de 2016].
7. _____.41017h1(ASTM C-39).*Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.*[en línea]. <www.iccg.org.gt/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg>. [Consulta: mayo de 2016].
8. _____.41017h5 (ASTM C-138).*Determinación de la densidad aparente (masa unitaria) rendimiento (volumen de concreto producido) y contenido de aire (gravimétrico) del concreto.* [en línea]. <www.iccg.org.gt/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg>. [Consulta: mayo de 2016].
9. _____.41017h6 (ASTM C-173).*Determinación del contenido de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método volumétrico.* [en línea]. <www.iccg.org.gt/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg>. [Consulta: mayo de 2016].

10. _____.41052 (ASTM C-143-08).*Determinación del asentamiento del concreto hidráulico*. [en línea]. <www.iccg.org.gt/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg>. [Consulta: mayo de 2016].
11. _____.41053 (ASTM C-1064).*Medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado*. [en línea]. <www.iccg.org.gt/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg>. [Consulta: mayo de 2016].
12. DÁVILA ELÍAS, Edgar Alejandro. *Actualidad y desarrollo del uso del vidrio en la construcción*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 94 p.
13. FLORES VILLANUEVA, Merary Rubén. *Hormigón con vidrio*. Tesis Ing. en Construcción. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, 2010. 53 p.
14. HERNÁNDEZ, Billy Josealberto. *Estudio comparativo de la resistencia a la compresión en mezclas de concreto elaboradas con materiales de reciclaje: plástico y llantas*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 89 p.

15. LÓPEZ GAYARRE, Fernando. *Influencia de la variación de los parámetros de dosificación y fabricación de hormigón reciclado estructural sobre sus propiedades físicas y mecánicas*. Tesis Doctoral. Gijón, Universidad de Oviedo, Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación, 2008.
16. LUCAS JORDÁN, Scanferla. *Ensayos de hormigón en estado fresco y endurecido*. Tesis Ing. Civil. Argentina, Área Estructuras y Materiales de Construcción, Centro de Investigaciones Viales (LEMaC), 2009. 109 p.
17. MORALES RAMÍREZ, Evelyn Maribel. *Manual de apoyo docente para desarrollar ensayos de laboratorio, relacionados con materiales de construcción*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 163 p.
18. Reporte Nacional de Manejo de Residuos en Guatemala. *Residuo: vidrio, Centro Guatemalteco de Producción más Limpia*. Guatemala, 2004. 25 p.
19. Universidad Católica de Argentina. *Estudios y ensayos de materiales: Vidrio. 2008. 11 p.*
20. VELÁSQUEZ SOLÍS, Edwin Estuardo. *Elaboración de unidades de mampostería, utilizando cementos puzolámicos y desechos de vidrio*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 113 p.

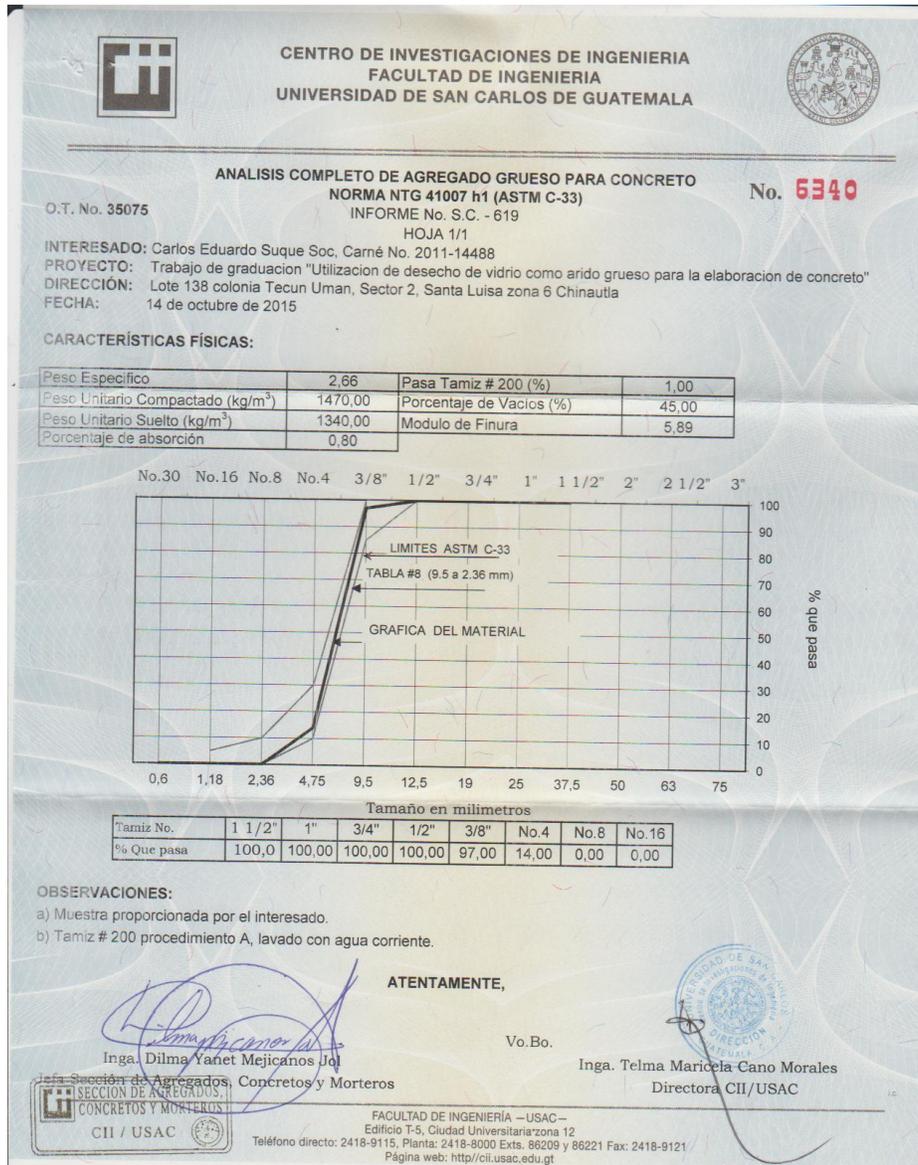
ANEXOS

Anexo 1. Análisis completo de agregado fino para concreto



Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería/USAC.

Anexo 2. **Análisis completo de agregado grueso para concreto**



Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería/USAC.

Anexo 3. Análisis completo del vidrio para concreto



Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería/USAC.

Anexo 4. Diseño teórico de mezcla de concreto patrón



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



DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLA DE CONCRETO
INFORME SC - 210

No. 08057

O.T. No. 35078

INTERESADO: Carlos Eduardo Suque Soc, Carné: 2011 – 14488.

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Utilización de desecho de vidrio como árido grueso para la elaboración de Concreto".

DIRECCIÓN: Lote 138 Colonia Tecun Uman, Sector 2, Santa Luisa Zona 6, Chiantula.

FECHA: 15 de Junio de 2016.

1. GENERALIDADES

1.1. El interesado proporciono el material y solicita a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregados fino y agregado grueso, para realizar un diseño teórico para concreto de 3 000 psi (210 kg/cm²), con Cemento de Uso General (UGC).

2. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

2.1. Análisis granulométrico de agregado fino. INFORME No. S.C. – 600/2015

2.2. Análisis granulométrico de agregado grueso. INFORME No. S.C. – 619/2015

2.3. Análisis granulométrico de desecho de vidrio. INFORME No. S.C. – 630/2015

3. DISEÑO DE MEZCLA

3.1. Resistencia Nominal 210,00 kg/cm²

3.2. Resistencia Promedio Requerida 210,00 kg/cm²

3.3. Relación Agua/Cemento 0,60

3.4. Asentamiento: 8-10 cm (3" - 4")

3.5. Datos de la Mezcla:

CONCRETO NORMAL $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			
MATERIALES	PROPORCIÓN EN PESO	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (kg/m ³)
CEMENTO	1	1 SACO	375,00
ARENA	2,30	58,90	864,00
PIEDRÍN	2,50	79,30	936,00
AGUA LIBRE	0,60	25,5	225,00

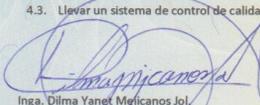
4. RECOMENDACIONES

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.

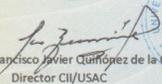
4.3. Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el ACI 318.

Atentamente,



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

Vo.Bo



Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz,
Director CII/USAC

SECCION DE AGREGADOS
CONCRETOS Y MORTEROS
CII / USAC

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

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería/USAC.

Anexo 5. **Diseño teórico de mezcla de concreto con 25% de vidrio**



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



DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLA DE CONCRETO
INFORME SC - 211

No. 08058

O.T. No. 35078

INTERESADO: Carlos Eduardo Suque Soc, Carné: 2011 – 14488.

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Utilización de desecho de vidrio como árido grueso para la elaboración de Concreto".

DIRECCIÓN: Lote 138 Colonia Tecun Uman, Sector 2, Santa Luisa Zona 6, Chinautla.

FECHA: 15 de Junio de 2016.

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 para concreto de 3 000 psi (210 kg/cm²), con Cemento de Uso General (UGC).

2. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

2.1. Análisis granulométrico de agregado fino. INFORME No. S.C. – 600/2015
 2.2. Análisis granulométrico de agregado grueso. INFORME No. S.C. – 619/2015
 2.3. Análisis granulométrico de desecho de vidrio. INFORME No. S.C. – 630/2015

3. DISEÑO DE MEZCLA

3.1. Resistencia Nominal 210,00 kg/cm²
 3.2. Resistencia Promedio Requerida 210,00 kg/cm²
 3.3. Relación Agua/Cemento 0,60
 3.4. Asentamiento: 8-10 cm (3" - 4")
 3.5. Datos de la Mezcla:

CONCRETO NORMAL CON ADICIÓN DE VIDRIO $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			
MATERIALES	PROPORCIÓN EN PESO	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (kg/m ³)
CEMENTO	1	1 SACO	375,00
ARENA	2,30	58,90	864,00
PIEDRÍN	2,50	79,30	936,00
AGUA LIBRE	0,60	25,5	225,00

4. RECOMENDACIONES

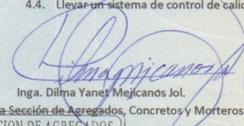
4.1. Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros de 6" de diámetro y 12" de altura, para su control de resistencia, con el ensayo a compresión, el cual se realiza en el CII/USAC.

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. Se sustituirá al 25% de agregado grueso por desecho de vidrio.

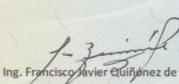
4.4. Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el ACI 318.

Atentamente,



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

Vo.Bo



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

SECCION DE AGREGADOS,
CONCRETOS Y MORTEROS
CII / USAC

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

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería/USAC.

Anexo 6. **Diseño teórico de mezcla de concreto con 40% de vidrio**



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



DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLA DE CONCRETO
INFORME SC - 212

No. **08059**

O.T. No. 35078

INTERESADO: Carlos Eduardo Suque Soc, Carné: 2011 - 14488.

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Utilización de desecho de vidrio como árido grueso para la elaboración de Concreto".

DIRECCIÓN: Lote 138 Colonia Tecun Uman, Sector 2, Santa Luisa Zona 6, Chinautla.

FECHA: 15 de Junio de 2016.

1. GENERALIDADES

1.1. El interesado proporciona el material y solicita a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregados fino y agregado grueso, para realizar un diseño teórico para concreto de 3 000 psi (210 kg/cm²), con Cemento de Uso General (UGC).

2. CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

2.1. Análisis granulométrico de agregado fino. INFORME No. S.C. - 600/2015
 2.2. Análisis granulométrico de agregado grueso. INFORME No. S.C. - 619/2015
 2.3. Análisis granulométrico de desecho de vidrio. INFORME No. S.C. - 630/2015

3. DISEÑO DE MEZCLA

3.1. Resistencia Nominal 210,00 kg/cm²
 3.2. Resistencia Promedio Requerida 210,00 kg/cm²
 3.3. Relación Agua/Cemento 0,60
 3.4. Asentamiento: 8-10 cm (3" - 4")
 3.5. Datos de la Mezcla:

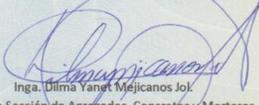
CONCRETO NORMAL CON ADICIÓN DE VIDRIO $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			
MATERIALES	PROPORCIÓN EN PESO	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (kg/m ³)
CEMENTO	1	1 SACO	375,00
ARENA	2,30	58,90	864,00
PIEDRÍN	2,50	79,30	936,00
AGUA LIBRE	0,60	25,5	225,00

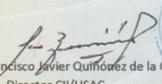
4. RECOMENDACIONES

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. Se sustituirá el 40 % de agregado grueso por desecho de vidrio.
 4.4. Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el ACI 318.

Atentamente,

Vo.Bo


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


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


**SECCION DE AGREGADOS,
CONCRETOS Y MORTEROS**
 CII / USAC

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

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería/USAC.

Anexo 7. Diseño teórico de mezcla de concreto con 50% de vidrio



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



DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLA DE CONCRETO
INFORME SC - 213

No. 08060

O.T. No. 35078

INTERESADO: Carlos Eduardo Suque Soc, Carné: 2011 – 14488.

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Utilización de desecho de vidrio como árido grueso para la elaboración de Concreto".

DIRECCIÓN: Lote 138 Colonia Tecun Uman, Sector 2, Santa Luisa Zona 6, Chínautla.

FECHA: 15 de Junio de 2016.

1. GENERALIDADES

1.1. El interesado proporciona el material y solicita a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregados fino y agregado grueso, para realizar un diseño teórico para concreto de 3 000 psi (210 kg/cm²), con Cemento de Uso General (UGC).

2. CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

2.1. Análisis granulométrico de agregado fino. INFORME No. S.C. – 600/2015
 2.2. Análisis granulométrico de agregado grueso. INFORME No. S.C. – 619/2015
 2.3. Análisis granulométrico de desecho de vidrio. INFORME No. S.C. – 630/2015

3. DISEÑO DE MEZCLA

3.1. Resistencia Nominal 210,00 kg/cm²
 3.2. Resistencia Promedio Requerida 210,00 kg/cm²
 3.3. Relación Agua/Cemento 0,60
 3.4. Asentamiento: 8-10 cm (3" - 4")
 3.5. Datos de la Mezcla:

CONCRETO NORMAL CON ADICIÓN DE VIDRIO $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			
MATERIALES	PROPORCIÓN EN PESO	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (kg/m ³)
CEMENTO	1	1 SACO	375,00
ARENA	2,30	58,90	864,00
PIEDRÍN	2,50	79,30	936,00
AGUA LIBRE	0,60	25,5	225,00

4. RECOMENDACIONES

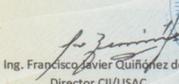
4.1. Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros de 6" de diámetro y 12" de altura, para su control de resistencia, con el ensayo a compresión, el cual se realiza en el CII/USAC.

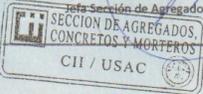
4.2. El diseño de mezcla esta propuesto para agregados en condición seco-saturados, debido a las condiciones de obra, se deberá corregir por humedad.

4.3. Se sustituirá el 50% de agregado grueso por desecho de vidrio.

4.4. Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el ACI 318.

Atentamente,

Vo.Bo 
 Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
 Director CII/USAC



SECCIÓN DE AGREGADOS
CONCRETOS Y MORTEROS
CII / USAC

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

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería/USAC.

Anexo 8. **Diseño teórico de mezcla de concreto con 60% de vidrio**



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



O.T. No. 35078

INTERESADO: Carlos Eduardo Suque Soc, Carné: 2011 – 14488.

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Utilización de desecho de vidrio como árido grueso para la elaboración de Concreto".

DIRECCIÓN: Lote 138 Colonia Tecun Uman, Sector 2, Santa Luisa Zona 6, Chínautla.

FECHA: 15 de Junio de 2016.

DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLA DE CONCRETO
INFORME SC - 214

No. 08061

1. GENERALIDADES

1.1. El interesado proporcione el material y solicito a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregados fino y agregado grueso, para realizar un diseño teórico para concreto de 3 000 psi (210 kg/cm²), con Cemento de Uso General (UGC).

2. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

2.1. Análisis granulométrico de agregado fino. INFORME No. S.C. – 600/2015

2.2. Análisis granulométrico de agregado grueso. INFORME No. S.C. – 619/2015

2.3. Análisis granulométrico de desecho de vidrio. INFORME No. S.C. – 630/2015

3. DISEÑO DE MEZCLA

3.1. Resistencia Nominal 210,00 kg/cm²

3.2. Resistencia Promedio Requerida 210,00 kg/cm²

3.3. Relación Agua/Cemento 0,60

3.4. Asentamiento: 8-10 cm (3" - 4")

3.5. Datos de la Mezcla:

CONCRETO NORMAL CON ADICIÓN DE VIDRIO $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			
MATERIALES	PROPORCIÓN EN PESO	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (kg/m ³)
CEMENTO	1	1 SACO	375,00
ARENA	2,30	58,90	864,00
PIEDRÍN	2,50	79,30	936,00
AGUA LIBRE	0,60	25,5	225,00

4. RECOMENDACIONES

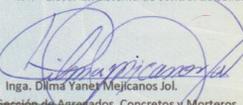
4.1. Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros de 6" de diámetro y 12" de altura, para su control de resistencia, con el ensayo a compresión, el cual se realiza en el CII/USAC.

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. Se sustituirá el 60 % de agregado grueso por desecho de vidrio.

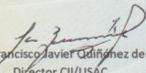
4.4. Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el ACI 318.

Atentamente,

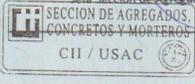


Inga. Dima Yaney Mejicanos Jol.
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo



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



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

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería/USAC.