



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

**FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE
CONCRETO CELULAR DE ESPUMA PREFORMADA**

Jimmy Alexander Yoc Chamalé

Asesorado por el Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz

Guatemala, abril de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE UNIDADES DE
MAMPOSTERÍA DE CONCRETO CELULAR DE ESPUMA PREFORMADA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JIMMY ALEXANDER YOC CHAMALÉ

ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO QUIÑÓNEZ DE LA CRUZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ABRIL DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Óscar Humberto Galicia Núñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

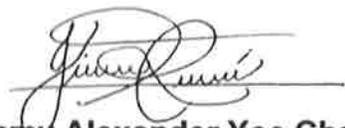
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Claudio César Castañón
EXAMINADORA	Inga. Maria del Mar Girón Cordón
EXAMINADOR	Ing. Alan Geovani Cosillo Pinto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO CELULAR DE ESPUMA PREFORMADA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
con fecha: 25 de octubre de 2013.



Jimmy Alexander Yoc Chamalé



Guatemala, 17 de enero de 2018

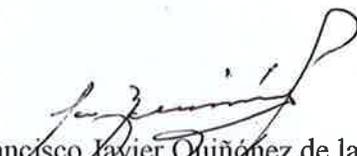
Ingeniero
José Gabriel Ordóñez Morales
Coordinador Area de Materiales
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Ingeniero Ordóñez:

Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **“FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO CELULAR DE ESPUMA PREFORMADA”**, desarrollado por el estudiante universitario **Jimmy Alexander Yoc Chamalé**, quien contó con mi asesoría.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **Yoc Chamalé**, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,


Francisco Javier Quiñón de la Cruz
Ingeniero Civil Colegiado No. 1941



FRANCISCO JAVIER QUIÑÓN DE LA CRUZ
Ingeniero civil colegiado No. 1941



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala,
02 de marzo de 2018

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 **FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO CELULAR DE ESPUMA PREFORMADA** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Jimmy Alexander Yoc Chamalé quien contó con la asesoría del Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


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



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/mrrm.

Mas de 137 años de Trabajo y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz y Coordinador del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Jimmy Alexander Yoc Chamalé FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO CELULAR DE ESPUMA PREFORMADA da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, abril 2018

/mmm.

Mas de 137 años de Trabajo y Mejora Continua



Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref.DTG.D.124.2018

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: **FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO CELULAR DE ESPUMA PREFORMADA**, presentado por el estudiante universitario: **Jimmy Alexander Yoc Chamalé**, 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, abril de 2018

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la fuerza e inspiración para culminar una meta más en mi vida.
- Mis padres** Pablo Yoc Inay (q.e.p.d) y María Timotea Chamalé Balán, por darme la vida, por su esfuerzo, por su amor incomparable y ser ejemplo de superación personal y profesional.
- Mis hermanos** Por ser parte de mi vida y por su apoyo incondicional, acompañándome en todo momento.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por haberme formado como profesional.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme las herramientas necesarias para desarrollarme como ingeniero civil.
Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz	Por brindarme la confianza y tiempo necesario para desarrollar este trabajo de investigación, siendo una persona ejemplar.
El Centro de Investigaciones de Ingeniería	Por el apoyo recibido, permitiendo la realización de los ensayos de laboratorio presentados en esta investigación.
La sección de Agregados, Concretos y Morteros	Por su profesionalismo, amistad y colaboración en este trabajo de graduación.
Mis compañeros de promoción	Por la convivencia y conocimientos compartidos, haciéndolos parte de mi vida.
Mis amigos	Por brindarme su amistad incondicional, su apoyo y sus buenos deseos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Definición técnica	1
1.2. Origen y evolución histórica.....	1
1.3. Clasificación de concretos especiales	3
1.3.1. Clasificación según método de producción	4
1.3.1.1. Concretos sin finos	5
1.3.1.2. Concretos con agregados ligeros	5
1.3.1.3. Concretos celulares	5
1.3.2. Clasificación según su aplicación	6
1.3.2.1. Aislamiento y similares	6
1.3.2.2. Concreto ligero estructural.....	6
1.4. Composición.....	7
1.4.1. Material aglomerante	7
1.4.2. Agregados ligeros.....	9
1.4.2.1. Agregados naturales.....	9
1.4.2.1.1. Origen volcánico.....	9
1.4.2.1.2. Origen orgánico	10
1.4.2.2. Agregados artificiales	11
1.4.2.2.1. Partículas expandidas ..	11

	1.4.2.2.2.	Subproductos industriales	11
	1.4.3.	Aditivos	13
	1.4.3.1.	Generadores de espuma.....	13
	1.4.3.2.	Reductores de agua	13
	1.4.4.	Agua para el mezclado.....	13
	1.4.5.	Inclusión de agentes espumosos	14
1.5.		Características físicas	16
	1.5.1.	Densidad	16
	1.5.2.	Características acústicas.....	17
	1.5.3.	Conductividad térmica	17
1.6.		Propiedades mecánicas	18
	1.6.1.	Resistencia a la compresión.....	18
	1.6.2.	Módulo de elasticidad.....	19
	1.6.3.	Resistencia a la tensión y flexión	20
1.7.		Características funcionales	20
	1.7.1.	Absorción de agua y capilaridad	20
	1.7.2.	Resistencia al fuego	21
	1.7.3.	Trabajabilidad.....	23
	1.7.4.	Desempeño ambiental	24
1.8.		Producción industrial	24
	1.8.1.	Preparación de materias primas.....	24
	1.8.2.	Dosificación	26
	1.8.3.	Vertido y colocación en moldes.....	26
	1.8.4.	Corte	27
	1.8.5.	Curado en autoclave	28
	1.8.6.	Empaquetado	29
1.9.		Productos ofertados	29
2.		MARCO METODOLÓGICO	31

2.1.	Descripción general del trabajo desarrollado.....	31
2.2.	Materiales utilizados	31
2.2.1.	Agregados	32
2.2.1.1.	Agregado fino	32
2.2.1.2.	Agregado grueso	35
2.2.2.	Material cementante	37
2.2.3.	Aditivos utilizados	38
2.2.3.1.	Agente espumante.....	38
2.2.3.2.	Reductor de agua	39
2.3.	Mezclas de concreto celular	41
2.3.1.	Metodología experimental	41
2.3.1.1.	Elección de factores y niveles.....	41
2.3.2.	Parámetros de diseño.....	42
2.3.3.	Mezclas preliminares	46
2.3.4.	Diseño teórico de mezclas.....	48
2.4.	Ensayos de laboratorio	48
2.4.1.	Ensayos al concreto fresco.....	50
2.4.1.1.	Flujo de asentamiento del concreto autoconsolidante NTG 41017 h22	50
2.4.1.2.	Temperatura NTG 41053.....	51
2.4.1.3.	Densidad aparente NTG 41017 h5.....	52
2.4.1.4.	Contenido de aire NTG 41017 h.....	53
2.4.1.5.	Porcentaje de exudación NTG 41017 h9.....	54
2.4.1.6.	Velocidad de endurecimiento inicial NTG 41017 h12	56
2.4.2.	Ensayos al concreto endurecido.....	57
2.4.2.1.	Resistencia a compresión de cilindros de concreto NTG 41017 h1 ...	57

2.4.2.2.	Densidad, absorción de agua y vacíos en el concreto endurecido NTG 41017 h21	59
2.5.	Fabricación y evaluación de bloques	60
2.5.1.	Colocación y curado de los especímenes	61
2.5.2.	Resistencia a la compresión de bloques NTG 41055 h1	62
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	65
3.1.	Mezclas preliminares.....	65
3.2.	Concreto fresco.....	67
3.2.1.	Porcentaje de exudación.....	71
3.2.2.	Tiempo de fraguado	73
3.3.	Concreto endurecido	75
3.4.	Evaluación de bloques: resistencia a compresión y porcentaje de absorción	81
	CONCLUSIONES.....	85
	RECOMENDACIONES	87
	BIBLIOGRAFÍA.....	89
	APÉNDICES.....	95
	ANEXOS.....	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Clasificación de concretos ligeros	4
2.	Concretos especiales y su componente base	8
3.	Densidades de concretos con agregados ligeros.....	12
4.	Concreto celular a base de gas y agentes espumantes.....	15
5.	Resistencia a compresión vrs Temperatura	22
6.	Panel prefabricado de concreto celular	23
7.	Molino de bolas para granulado de arena	25
8.	Almacenaje de espuma y mezcladora principal	25
9.	Masa de mezcla vertida en moldes	26
10.	Chequeo de endurecimiento de la mezcla	27
11.	Corte vertical mediante cables tensados.....	28
12.	Cámaras de autoclave	28
13.	Empaquetado de producto	29
14.	Granulometría de arena pómez	33
15.	Granulometría de agregado grueso	36
16.	Agregado fino y grueso utilizados	37
17.	Agente espumante utilizado	39
18.	Aditivo reductor de agua de alto rango.....	40
19.	Volumen de espuma vrs Consumo de cemento por m ³ de mezcla	45
20.	Flujo del asentamiento de concreto celular	51
21.	Ensayo de temperatura	52
22.	Ensayo de densidad aparente.....	53
23.	Contenido de aire	54

24.	Ensayo de exudación.....	55
25.	Velocidad de endurecimiento inicial.....	57
26.	Resistencia a compresión.....	58
27.	Ensayo NTG 41017 h21	59
28.	Maquinaria utilizada para fabricación de bloques	60
29.	Moldes experimentales	62
30.	Ensayo a compresión de bloques	63
31.	Porcentaje de exudación vrs Tiempo.....	73
32.	Esfuerzo de penetración vrs Tiempo	75
33.	Esfuerzo a la compresión vrs Tiempo.....	78
34.	Resistencia a la compresión (28 días) vrs Densidad	79

TABLAS

I.	Aplicaciones del concreto celular.....	16
II.	Coeficientes de conductividad térmica.....	18
III.	Densidad y resistencia a la compresión.....	19
IV.	Coeficientes de absorción de agua.....	21
V.	Características físicas de arena pómez	32
VI.	Granulometría de arena pómez	33
VII.	Otros ensayos de laboratorio de arena pómez	34
VIII.	Composición química de arena pómez.....	34
IX.	Características físicas de agregado grueso.....	35
X.	Granulometría de agregado grueso	36
XI.	Características físicas de cemento utilizado	37
XII.	Características del aditivo espumante	38
XIII.	Características de aditivo reductor de agua.....	40
XIV.	Dosificación base, ACI 523.3R-14 para un m ³ de mezcla.....	43
XV.	Consumo de cemento y espuma por m ³ de mezcla	45

XVI.	Dosificaciones preliminares para un m ³ de mezcla	47
XVII.	Dosificaciones analizadas para un m ³ de mezcla	49
XVIII.	Resultados de mezclas preliminares.....	66
XIX.	Ensayos al concreto fresco	68
XX.	Porcentaje de exudación de agua.....	72
XXI.	Tiempo de fraguado	74
XXII.	Esfuerzos a compresión.....	77
XXIII.	Resultados de ensayo NTG 41055 h19	81
XXIV.	Evaluación de bloques	83

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Ah	Arena húmeda
As	Arena seca
cm²	Centímetro cuadrado, unidad de área
cm	Centímetro, unidad de longitud
λ	Coefficiente de conductividad térmica
κ	Coefficiente de transmisión térmica
dB	Decibelio
CO₂	Dióxido de carbono
°C	Grado Celsius
g	Gramo, unidad de masa
G.E.	Gravedad específica
Hc	Humedad contenida
kg	Kilogramo, unidad de fuerza (peso)
l	Litro, unidad de volumen
Mpa	Megapascuales, unidad de esfuerzo
m²	Metro cuadrado, unidad de área
m³	Metro cúbico, unidad de volumen
m	Metro, unidad de longitud
ml	Mililitro, unidad de volumen
mm	Milímetro, unidad de longitud
#	Número
Al₂O₃	Óxido de aluminio
CaO	Óxido de calcio

FeO₃	Óxido de hierro
MgO	Óxido de magnesio
Na₂O	Óxido de sodio
P.U.	Peso unitario
%	Porcentaje
psi	<i>Pounds per square inch</i> (Libra por pulgada cuadrada)
pulg²	Pulgada cuadrada, unidad de área
pulg	Pulgada, unidad de longitud
f'c	Resistencia a la compresión del concreto
sss	Saturado de superficie seca

GLOSARIO

Aditivo	Producto que se adiciona en pequeñas proporciones al concreto durante el mezclado, con el propósito de producir una modificación a sus propiedades originales tanto en estado fresco y/o endurecido.
Agregado	Material inorgánico natural o artificial cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados según normativos. Está embebido en la pasta y ocupa aproximadamente un 75 % del volumen del concreto.
ASTM	Siglas en inglés de la Sociedad Americana para el Ensayo e Inspección de los Materiales (American Society for Testing and Materials).
Autoclave	Es un sistema hermético que permite trabajar bajo temperatura y presurización, utilizado para curar y consolidar materiales compuestos.
Carbonatación	Reacción entre el dióxido de carbono y un hidróxido u óxido para formar carbonato.
Cemento hidráulico	Es un cemento que fragua, endurece y desarrolla resistencia por reacción química con el agua, tanto en el aire como debajo del agua.

Coalescencia	Es la posibilidad de que dos o más materiales se unan en un único cuerpo.
Coguanor	Comisión Guatemalteca de Normas.
Cohesión	Atracción mutua a través de la cual los elementos de una sustancia se mantienen unidos.
Compresión	Fuerza que se ejerce sobre un elemento reduciendo su tamaño o volumen.
Contracción	Es el acortamiento que experimenta el concreto durante el proceso de endurecimiento y secado
Curado	Proceso a través del cual se mantiene el concreto y mortero en la condición húmeda y a una temperatura favorable, a fin de que se desarrollen las propiedades deseadas del material. El curado garantiza la hidratación y el endurecimiento satisfactorio de los materiales cementantes.
Dosificación	Proceso de medición, por peso o volumen, de los ingredientes y su introducción en la mezcladora para una cantidad de concreto y mortero.
Encofrado	Sistema de moldes temporales o permanentes que se utilizan para dar forma al concreto u otros materiales similares.

Esfuerzo	Es la resistencia que ofrece un área unitaria del material para ser deformado.
Espuma	Es una capa de líquido globular enclaustrando vapor o gas.
Fluidez	Es la medida de la consistencia del concreto expresada en términos del diámetro de un espécimen moldeado.
Fraguado	Grado en el cual el concreto fresco perdió su plasticidad y se endurece.
Hidratación	Es la reacción química entre el cemento hidráulico y el agua a través de la cual se forman nuevos compuestos que confieren resistencia al concreto.
Higrotérmico	Es la sensación de comodidad que sienten las personas dentro de un ambiente, incluyendo factores de humedad y temperatura.
Mortero	Mezcla de materiales cementantes, agregado fino y agua, que puede contener aditivos.
NTG	Siglas de Norma Técnica Guatemalteca.
Pasta	Constituyente del concreto y mortero que consiste en cemento y agua.

pH	Símbolo químico que representa el logaritmo del recíproco de la concentración de iones de hidrógeno en átomos gramo por litro, usado para expresar la acidez y la alcalinidad (base) de la solución en una escala de 0 a 14, donde menos que 7 representa acidez y más que 7 alcalinidad.
Segregación	Separación de los componentes del concreto en estado fresco, resultando en una mezcla sin uniformidad.
Solidificación	Es un proceso físico que consiste en conversión de un líquido o gas en un sólido, adquisición de mayor solidez o firmeza.
Trabajabilidad	Es la propiedad del concreto y mortero fresco que determina sus características de trabajo, es decir la facilidad para su mezclado, colocación, moldeo y acabado.

RESUMEN

En esta investigación experimental se desarrolló el uso de concreto celular de espuma preformada, teniendo como agregado principal arena pómez, material local abundante en la ciudad de Guatemala, para fabricar unidades de mampostería, con el objeto de presentar este material como una opción más al productor de prefabricados. Se ha utilizado documentos bibliográficos para respaldar lo desarrollado y conocer el panorama general sobre la composición de concretos celulares, para hacer un análisis de los materiales propuestos para este concreto especial.

El estudio consistió en determinar una proporción de mezcla con base en el reporte del comité ACI 523.3R-14, evaluando las principales propiedades de las mezclas y realizando ensayos de laboratorio sobre el concreto en estado fresco y en estado endurecido, basados en especificaciones de los normativos NTG y ASTM; seguidamente, con la mezcla que cumplió con las especificaciones, se fabricó artesanalmente bloques de mampostería, evaluando su resistencia a la compresión y porcentaje de absorción de agua.

Los resultados establecen un material con características provechosas para ser utilizado en prefabricados, debido a su desempeño mecánico y su apariencia física, de la misma forma la metodología de fabricación favorece el uso del material en el sitio de obra por su fácil colocación. Desde luego, este trabajo expone datos experimentales puntuales, por ello la seguridad en el uso del material se da de manera restringida.

OBJETIVOS

General

Evaluar experimentalmente la resistencia a compresión y porcentaje de absorción de agua en unidades de mampostería fabricadas con concreto celular de espuma preformada.

Específicos

1. Caracterizar los materiales constituyentes, aglomerante, agregados y espuma preformada, propuestos para la realización de mezclas de concreto celular.
2. Definir las características de producción de las unidades de mampostería.
3. Fabricar unidades de mampostería de acuerdo con las variables de los objetivos 1 y 2.
4. Evaluar las características de resistencia a compresión y porcentaje de absorción, de unidades de mampostería fabricadas con concreto celular, de acuerdo con la condición del objetivo 3.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las unidades de mampostería de concreto convencional son los materiales más utilizados para la construcción de muros, ya sea estructurales o no estructurales, debido a su disponibilidad en el medio y los métodos de elaboración de los mismos, sin embargo, se encuentran factores desfavorables para darles uso, como es el peso que presentan debido a su densidad, factor a tomar en cuenta en el costo de la construcción.

Establecer un material que tenga similar comportamiento con el concreto tradicional ha impulsado la idea de desarrollar y perfeccionar concretos de baja densidad, tratándose de concretos ligeros. Las unidades de mampostería de concreto celular se presentan como una posible solución frente a los retos constructivos actuales, que demandan rapidez de construcción y calidad; aunque el uso de concretos ligeros se ha hecho bastante popular en los últimos años, no es ningún material nuevo en la industria de la construcción, la idea de estos es mejorar y variar la gama de agregados ligeros, los cuales pueden ser utilizados en la fabricación de concretos con características especiales.

Esta investigación tiene por objeto la fabricación y evaluación de unidades de mampostería de concreto celular de espuma preformada, que cumplan con las especificaciones de compresión y porcentaje de absorción de agua, que indica la Normativa Técnica Guatemalteca NTG 41054: Bloques Huecos de Concreto para Muros. Especificaciones.

Inicialmente se caracterizó los materiales propuestos para la elaboración de mezclas de concreto celular, entre los cuales se puede destacar el uso de la

arena pómez, material local abundante en el área metropolitana de Guatemala, que servirá para sustituir el agregado tradicional utilizado en la elaboración de concretos celulares, que es la arena sílice.

Al realizar los diseños de mezcla, se tuvo como base las recomendaciones del comité ACI 523.3R-14, evaluando las propiedades de las mezclas mediante ensayos de laboratorio al concreto en estado fresco y estado endurecido, para establecer un proporcionamiento acorde a las características de fabricación de las unidades de mampostería. El resultado fue satisfactorio y se logró un elemento constructivo de fácil elaboración, con un desempeño mecánico aceptable en cuanto a la resistencia a la compresión y al aspecto físico.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Definición técnica

El concreto celular se ha definido de varias maneras, de hecho, tiene una serie de sinónimos como: concreto ligero celular, concreto alveolar, concreto aireado, mortero celular. Existe confusión en la literatura entre concreto celular y materiales similares, como lo es la incorporación de aire en el concreto convencional para tener una mejor trabajabilidad.

El concreto celular es una mezcla de estructura homogénea, de material aglomerante, agregados y pequeñas burbujas de aire no comunicadas entre sí, distribuidas uniformemente¹. Las burbujas de aire se obtienen adicionado un gas o un tipo de espuma que se adiciona a la mezcla, estas ocupan espacio en la mezcla y, al fraguar, serán las que permitan mayor ligereza del material.

1.2. Origen y evolución histórica

La invención del concreto celular inicialmente se produjo con la incorporación de aire, principalmente en el concreto curado en autoclave, la cual es un conjunto de patentes previas como resultado de los esfuerzos realizados por reducir notablemente el peso del concreto convencional, con la implementación de agregados ligeros naturales y artificiales, o agentes espumosos a partir del siglo XVIII, con resultados limitados en sus inicios, pero de sumo interés principalmente en países europeos.

¹ LEGATSKI, L.M. *Concrete roof decks. The roofin Spec.* P. 26

“A partir de 1880 el químico alemán W. Michaelis logra someter a altas temperaturas cemento a base de calcio con arena y un contenido reducido de agua, esto mediante la introducción de vapor de alta tensión al tratamiento de la mezcla. Michaelis parte de trabajos realizados por V.Zemikov y logra obtener silicato cálcico hidratado”². La firmeza y resistencia logradas le valieron la obtención de una patente que define las bases de composición de los materiales producidos a partir del curado al vapor.

A partir de la invención del cemento Portland en 1824 por Joseph Aspdin, la innovación en el campo del concreto ha sido constantemente y se mantenido en pleno apogeo. “En 1899 E. Hoffman, de origen checo, logra patentar y probar con éxito el proceso de aireación del concreto mediante la liberación de dióxido de carbono en su composición base”². Los resultados de Hoffman abren los campos de investigación en la aireación en el concreto.

Además, “la empresa química Bayer patenta a partir de 1923 la preparación de concretos celulares mediante procesos de espuma, incluyendo de esta forma aire a la mezcla”³. Desde 1936 las espumas de aire usadas para combatir incendios detallan que son una crónica de la utilización de agentes espumosos.

En Estados Unidos, donde el desarrollo del agregado ligero se dio más rápido que en cualquiera de los países antes mencionados, ya que el extenso territorio del país origina altos costos de transporte para mover materiales pesados a grandes distancias, a pesar de no existir escasez de agregados, estos se encuentran retirados de centros de prefabricados, y es más económico el uso de agregados a base de agentes espumantes producidos en el mismo

² Building Reserch Institute. *Structural foams*. P. 5

³ JIMÉNEZ, R. E. *Concreto aireado en autoclave*. Universidad Politécnica de Cataluña. P. 10.

sitio de la obra, factor con el que los concretos livianos se desarrollaron rápidamente.

En México, industrias como Cemex y Contec producen y comercializan el concreto celular. Cemex ofrece el servicio de concreto móvil, el cual puede ser colado en el sitio. Contec utiliza la tecnología alemana AAC (Concreto Celular en autoclave) para ofrecer su sistema constructivo a base de *blocks* y paneles de concreto ligero. Estos productos tienen la desventaja de no producirse en el sitio, por lo que tienen que dosificarse en planta aumentando el costo.

A la fecha, en Guatemala el concreto celular se presenta como un material no convencional poco conocido, se pretende impulsar su desarrollo utilizando agregados locales para su producción y que esta sirva como esfuerzo de lograr utilizar este material para la producción de prefabricados.

1.3. Clasificación de concretos especiales

Los concretos especiales son aquellos que tienen propiedades no ordinarias o aquellos producidos por técnicas poco comunes. El concreto es, por definición, un material o compuesto, consistiendo básicamente en un medio aglomerante (aglutinante) y partículas de agregado, que puede tomar varias formas.

Los concretos ligeros se encuentran dentro de la familia de concretos especiales y se les caracteriza porque su densidad es igual o inferior a 2,000 kg/m³⁴. Aunque los procedimientos de producción de concretos especiales y concretos ordinarios son similares, las normas y consideraciones de diseño de los concretos ordinarios no pueden aplicarse, ya que las propiedades de los

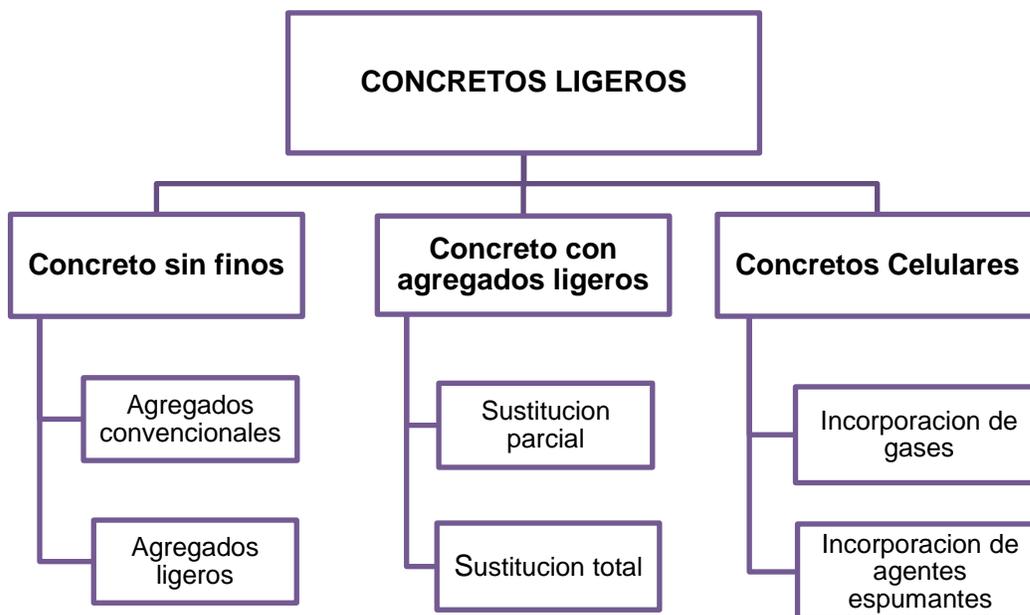
⁴ HUMMEL, A. *Prontuario del hormigón*. P. 245.

agregados ligeros utilizados se comportan de una manera muy distinta. Para su mejor comprensión, el concreto ligero de forma general se puede clasificar de dos formas: según el método de producción y según su aplicación.

1.3.1. Clasificación según método de producción

Existen tres métodos para producir concreto ligero: concreto sin finos, concretos con agregados de peso ligero y concreto celular, como se observa en la figura 1. A continuación se explica de manera breve en qué consiste cada uno de estos métodos:

Figura 1. Clasificación de concretos ligeros



Fuente: NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. *Tecnología del concreto*. P. 339.

1.3.1.1. Concretos sin finos

Son logrados a través de la eliminación de elementos finos en su composición, mediante su sustitución por aire. En esta composición el agregado grueso queda envuelto entre pasta de cemento y la unión entre sus granos es de manera puntual. El peso volumétrico alcanzado es aproximadamente 70 % del concreto común. El uso de concretos sin finos solo es recomendable cuando el agregado grueso empleado es altamente resistente.

1.3.1.2. Concretos con agregados ligeros

En este proceso se emplea agregado de peso ligero comúnmente poroso de baja densidad, en vez de utilizar agregado de peso normal, con una densidad relativa de aproximadamente 2,6. A diferencia del concreto sin finos, en este método se pueden utilizar tanto agregado grueso como fino, generalmente se prefiere para propósitos estructurales, donde su uso conduce a un costo menor de la estructura del que se podría esperar con el concreto de peso normal.

1.3.1.3. Concretos celulares

Su composición es a base de cemento, agua, gas o espuma preparada, no contiene agregados sólidos en alto porcentaje y generalmente está limitado en el rango de baja densidad. En su elaboración se mezclan primero el cemento, arena y agua, y posteriormente se añade un agente químico o un agente espumante, mezclándose hasta obtener una consistencia celular. Los concretos celulares se clasifican en dos tipos, según el método empleado en su elaboración, siendo estos: la incorporación de productos químicos en la mezcla que generan gas o introduciendo un agente espumante.

1.3.2. Clasificación según su aplicación

Los concretos celulares también se pueden clasificar de acuerdo con los usos a que están destinados, los cuales generalmente son: para fines de aislamiento y como concreto estructural, este último comúnmente en piezas prefabricadas y concreto reforzado con acero.

1.3.2.1. Aislamiento y similares

Los productos que se pueden hacer con el concreto celular son innumerables. Se utiliza principalmente para muros divisorios con fines de aislamiento térmico por su baja conductividad térmica y como protección contra el fuego, empleándose estructuralmente en forma de bloques o elementos prefabricados.

1.3.2.2. Concreto ligero estructural

El concreto ligero estructural tiene una densidad de alrededor de 1120 a 1680 kg/m³ comparado con el concreto de peso normal, con una densidad entre 2240 y 2400 kg/m³. Para que un concreto ligero tenga aplicaciones estructurales, su resistencia a compresión debe ser mayor que 176 kg/cm² a los 28 días y su peso no debe exceder los 1920 kg/m³.⁵

La resistencia del agregado ligero utilizado varía con el origen y tipo, no existe una relación fiable entre la resistencia del agregado y la resistencia del concreto. Todos los concretos tienen una resistencia máxima dependiente de las propiedades de los agregados, pero la calidad de la pasta de cemento ejerce una influencia importante sobre las propiedades del concreto.

⁵ ACI 213R-03. *Guide for structural lightweight aggregate concrete*. P. 4

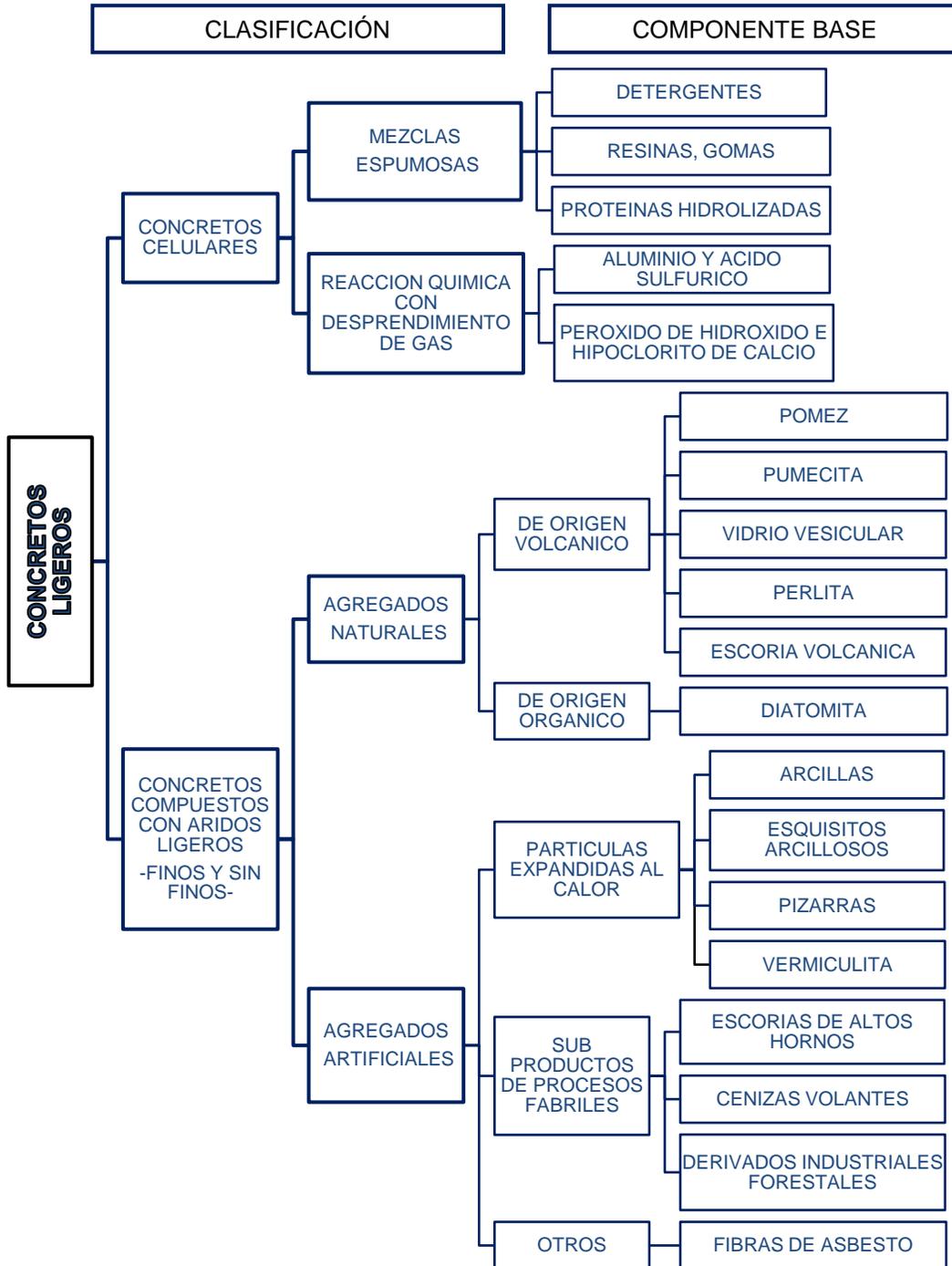
El costo unitario generalmente más elevado del concreto estructural ligero se compensa por la reducción de cargas muertas y menores costos de cimentación. Asimismo, existen ventajas especiales cuando se trata de modificar o de aumentar estructuras ya existentes. Las condiciones de humedad de los agregados y la granulometría que debe usarse son problemas que no se resuelven fácilmente por los métodos usuales, tanto es así que el ACI ha elaborado procedimientos separados para la dosificación de estas mezclas. Los métodos principalmente se basan en la experiencia y en el diseño de mezclas por tanteo de las proporciones. Los concretos ligeros tienen diferentes clasificaciones, de acuerdo con agregados y agentes adicionales, además por sus distintas formas de producirlo, por lo que se presenta la clasificación en función a su material base de fabricación. Para su mejor comprensión es mostrada en la figura 2.

1.4. Composición

1.4.1. Material aglomerante

El cemento para la fabricación de concreto celular debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM C150 / C150M (cemento Portland), ASTM C595 / C595M (mezcla de cementos hidráulicos), la de los cementos mezclados que incluyen cemento Portland con puzolanas, cemento de escoria u otros cementos hidráulicos solos o combinados. El cemento usado suele desarrollar su fuerza a un ritmo más lento, durante los primeros 3 a 5 días después de la colocación. Los cementos de resistencia inicial alta son los que presentan mayor eficacia para la fabricación de concreto celular.

Figura 2. **Concretos especiales y su componente base**



Fuente: MORALES, Bernardo. *Mezclas de concreto liviano con piedra pómez del valle de Guatemala*. P. 3-A

1.4.2. Agregados ligeros

Según la guía para la fabricación de concretos celulares arriba de 50 lb/pie³ (800 kg/m³), los agregados deben ajustarse con las normas ASTM C33 / C33M, C144, C330 / C330M, o C332. Con el objetivo de ampliar el panorama sobre los agregados que se pueden utilizar para producir concreto ligero y celular, se expondrán algunos tipos, describiendo su origen y características, teniendo como guía la figura 2.

1.4.2.1. Agregados naturales

1.4.2.1.1. Origen volcánico

La lava se define como roca derretida que se halla en la superficie de la tierra que puede contener gases y aire. Cuando se enfría, endurece, convirtiéndose en un material poroso, entre los más utilizados se encuentran:

- **Pómez:** formada por enfriamiento violento de las corrientes de lava cuando los gases que escapan rápidamente durante la solidificación, dejando cavidades más o menos cilíndricas y paralelas; de color claro, es un vidrio volcánico parecido a la espuma con una densidad alrededor de 500 a 900 kg/m³, con buenas características aislantes, sin ser demasiado débil estructuralmente, posee una absorción y contracción elevadas.
- **Pumecita:** formada por las partículas finamente divididas arrojadas por los volcanes y, por su poco peso, colocadas en una capa especial por el viento. Es suave y su peso oscila alrededor de 480 a 1000 kg/m³.

- Vidrio vesicular: es parecido a los anteriores con la diferencia de tener poros bastante más grandes que los de la pómez. Resulta ser magnífico material de construcción. Se da este nombre a trozos o masas grandes de roca.
- Perlita: es lava enfriada lentamente, contiene en su interior burbujas de regular tamaño, de gases atrapados. Después de ser expandida en horno, la perlita llega a tener pesos muy bajos de 30 a 260 kg/m³. El concreto hecho con perlita tiene una resistencia muy baja, una contracción muy alta y se usa principalmente para propósitos de aislamiento. Estos concretos son de secado rápido.
- Escorias volcánicas: como su nombre lo indica, son desechos de origen volcánico, compuestos de partículas porosas y no clasificadas entre los grupos anteriores, generalmente procedentes de rocas básicas.

1.4.2.1.2. Origen orgánico

Las rocas sedimentarias se forman por la precipitación y acumulación de materia mineral de una solución o por la compactación de restos vegetales y/o animales que se consolidan en rocas duras. Los sedimentos son depositados, una capa sobre la otra, en la superficie de la litosfera, a temperaturas y presiones relativamente bajas, y pueden estar integrados por fragmentos de rocas preexistentes de diferentes tamaños.

- Diatomita: depósito de conchas silicosas de plantas acuáticas microscópicas (diatomeas). Su peso volumétrico promedio es de 450 kg/m³ en estado puro, pero mezclado con arcillas, arenas y piedras este peso aumenta.

1.4.2.2. Agregados artificiales

1.4.2.2.1. Partículas expandidas

- Arcillas: esquistos arcillosos y pizarras expandidas, ciertas arcillas, esquistos arcillosos y pizarras trituradas y luego sometidos a cocción, dan lugar a formación de agregados porosos y resistentes. Se ha obtenido agregados con peso hasta de 640 a 960 kg/m³.
- Vermiculita: es un material micáceo, de estructura enchapada similar a la mica, que cuando se calienta se expande varias veces, o incluso hasta 30 veces su volumen original, por la exfoliación de sus laminas delgadas. Como resultado, la densidad bruta de la vermiculita exfoliada es de solo 60 a 130 kg/m³. El concreto hecho con este material es de muy baja resistencia, pero es un excelente aislante del calor.

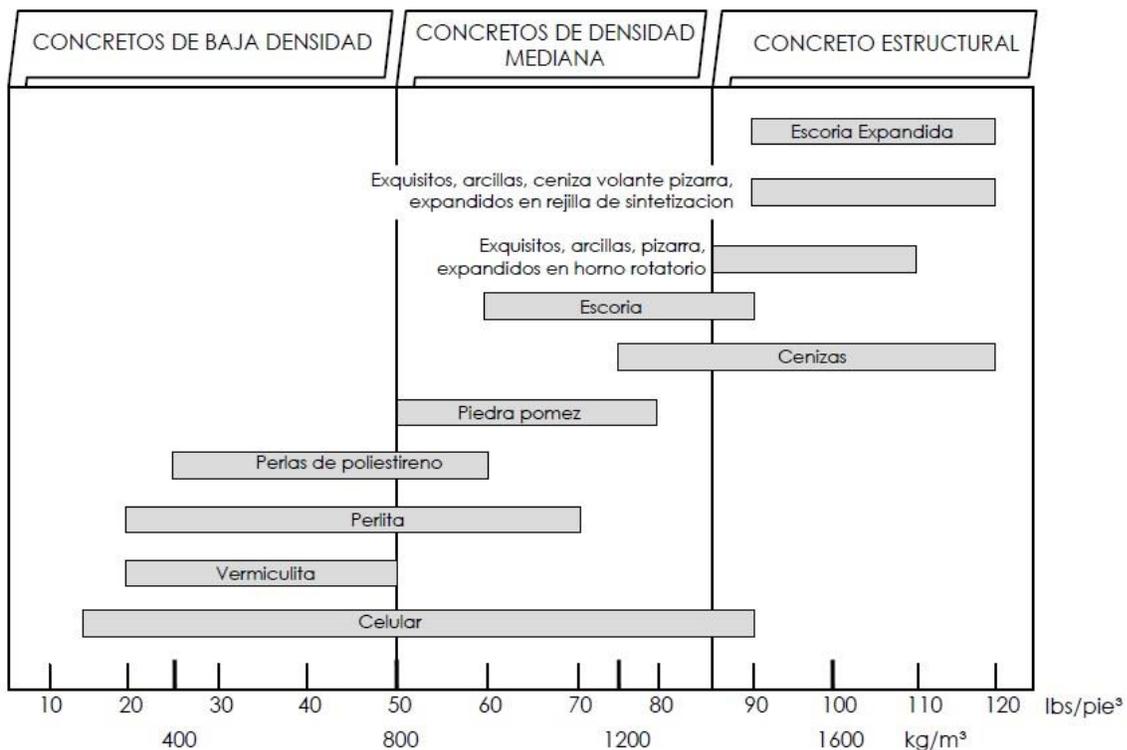
1.4.2.2.2. Subproductos industriales

- Escoria expandida: la escoria se ha utilizado durante muchos años y se produce con una cantidad de masa que varía de 300 a 1100 kg/m³, dependiendo de los detalles del proceso de enfriamiento y en buena medida del tamaño de la partícula y su graduación. El concreto hecho con escoria expandida tiene una densidad de 950 a 1759 kg/m³.
- Cenizas volantes de carbón: cenizas arrastradas por los gases de combustión provenientes de carbón y compuestas por partículas esféricas de vidrio vesicular. Cuando las cenizas se usan como agregados fino y grueso se obtienen concretos con una densidad cerca de 1100 a 1400 kg/m³.

- Fibras vegetales, aserrín y otros materiales similares mezclados con cemento y aditivos dan lugar a productos de construcción livianos formados generalmente a máquina.

Cabe destacar que, generalmente, los agregados ligeros artificiales resultan menos variables en sus propiedades en comparación con agregados de origen natural, puesto que las partículas son hechas en fábricas en condiciones controladas. La figura 3 da una idea de los valores de densidades de concretos en estado seco realizados con agregado livianos naturales, artificiales y procesados.

Figura 3. **Densidades de concretos con agregados ligeros**



Fuente: Revista IMCYC, Volumen 20, Número 132, abril 1982, 66 p.

1.4.3. Aditivos

1.4.3.1. Generadores de espuma

El agente espumógeno activo al ser batido forma burbujas de aire que son retenidas dando origen a la espuma; los agentes más conocidos son: emulsiones de jabón neutro y albumina; derivados de ácido naftaleno (sulfónico y como estabilizador de la espuma el silicato de sodio a 38 °C), jabones de resina y silicato sódico, proteínas hidrolizadas, detergentes, etc. Estos deben cumplir las especificaciones descritas en la norma ASTM C 796 *Foaming agents for use in producing cellular concrete using preformed foam*.

1.4.3.2. Reductores de agua

Los aditivos reductores de agua se usan para disminuir la cantidad de agua de mezcla necesaria para la producción de un concreto con un revenimiento específico, reduciendo así la relación agua/cemento y aumentando la trabajabilidad a normal o alta. Los aditivos reductores de agua de alto rango se pueden usar para conferir al concreto las mismas propiedades obtenidas por los aditivos reductores de agua normales, pero con mayor eficiencia. En la norma ASTM C 494 corresponden a los tipos F (reductor de agua) y G (reductor de agua y retardador de fraguado).

1.4.4. Agua para el mezclado

El agua usada para fabricación de concreto celular debe ser potable y libre de cantidades perjudiciales de ácidos, alcalinos, sales, aceites y otros materiales orgánicos (ASTM C94 / C94M). El agua no potable se puede usar si

la muestra prueba no produce alteraciones en las propiedades físicas y mecánicas necesarias (ASTM C109 / C109M; ASTM C191).

1.4.5. Inclusión de agentes espumosos

Los procesos de formación de espuma usados en la fabricación de concretos celulares tienen por finalidad la incorporación de aire, además los agentes utilizados en concreto a gas estructurales se pueden usar como agentes de formación de espuma. El término espuma implica contenidos relativamente altos de aire. Se han utilizado regularmente los siguientes tipos de agentes espumantes:

- a. Detergentes y agentes humectantes
- b. Resina jabón y cola animal o vegetal
- c. Saponina
- d. Resina neutralizada y proteína hidrolizada

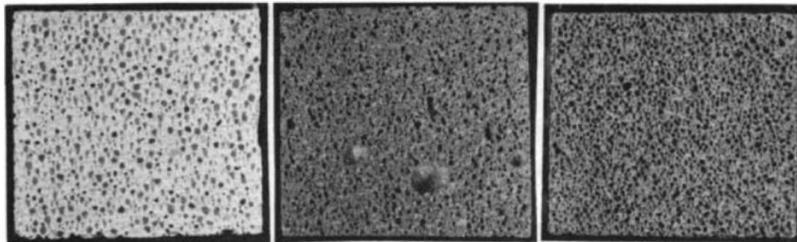
El agente espumante se añade a la mezcla después de todos los otros ingredientes (incluyendo un acelerador y/o fluidificante) el mezclador puede ser operado a 80 o 90 rpm durante el período final que suele tener una duración de 2 ó 3 min. La consistencia después de la mezcla puede ser la de una crema espesa pero vertible. Los moldes se llenan generalmente a rebosar para compensar algún hundimiento debido al sangrado de agua a través de las partes inferiores de los moldes.

Una ventaja del procedimiento de espuma preformada es la formación de espuma, a la que se le conocen sus características de volumen y viscosidad, teniendo así la densidad del material antes del colado, siendo un cálculo más sencillo comparado con los métodos gasificantes.

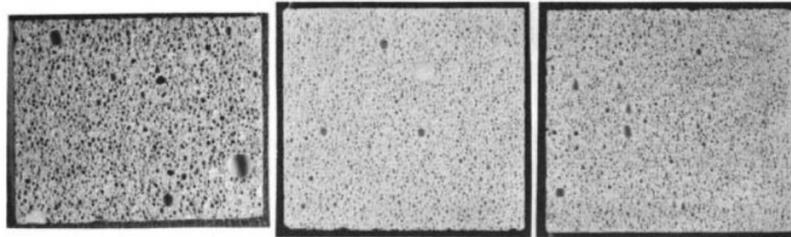
Las experiencias con el proceso de gas y espuma indican excelentes concretos celulares, indistinguibles en sus propiedades físicas. La figura 4 muestra concretos celulares en estado seco a base de gas y usando espuma preformada para lograr visualizar la textura final al comparar ambos métodos.

Figura 4. **Concreto celular a base de gas y agentes espumantes**

I. Muestras de concreto celular a base de polvo de aluminio.

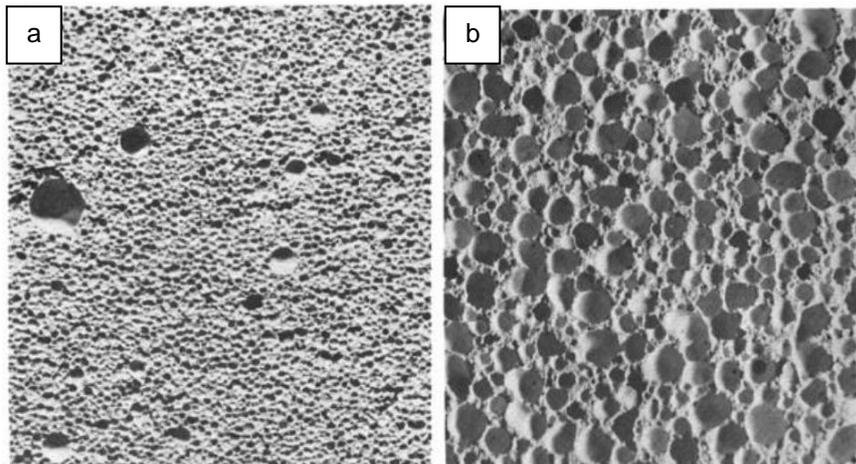


II. Muestras de concreto celular a base de espuma preformada.



III. a. Concreto celular realizado con peróxido de hidrógeno.

b. Concreto celular realizado con espuma preformada.



Fuente: Building Research Institute. *Structural foams*. 1960, 16 p.

1.5. Características físicas

1.5.1. Densidad

La densidad queda determinada por el volumen alcanzado a partir del proceso de aireación; con base en los agregados a usar se presenta una relación de agua/cemento que es mayor a medida que la proporción de arena aumenta. Cuando esta relación es baja se produce insuficiencia de aireación y en el caso de que sea muy alta se produce una ruptura de vacíos, generando una microestructura expandida. La densidad influye de manera directa en las propiedades del concreto celular, los rangos de densidad con que es producido oscilan entre 800-1800 kg/m³ en estado seco, “un concreto curado en autoclave puede ser entre un 15-25 % más pesado que el mismo secado al horno”⁶. La tabla I muestra las aplicaciones más usuales del concreto celular según su densidad.

Tabla I. **Aplicaciones del concreto celular**

Densidad (kg/m ³)	Aplicaciones usuales
350-600	Entrepisos y entre techos como aislante térmico y acústico.
800-1000	Para prefabricados no portantes, bloques y aislamientos térmicos.
1100 – 1200	Prefabricados portantes y para pisos.
1400 – 1600	Usos estructurales, moldes <i>in situ</i> y premoldeados.
Mayores a 1800	Apto para todo tipo de uso estructural

Fuente: Grupo Zelada Fischer. www.concretocelular-ccs.com.py/aplicaciones.php.

Consulta: 07 de agosto de 2016.

⁶ NARAYANAN, N.; RAMAMURTHY, K.; *Structure and properties of aerated concrete*. P. 325.

1.5.2. Características acústicas

Debido a su densidad reducida, el concreto celular también mejora la atenuación del sonido, “presenta sus ventajas acústicas en base al coeficiente de transmisión de sonido en el aire, y la pérdida de transmisión, sin embargo, su propiedad de aislamiento acústica es relativamente baja”⁷. Así pues, resulta efectivo por la pérdida de transmisión, dada por los sistemas de poros encontrados en su microestructura.

El concreto celular curado en autoclave es el que presenta mejor rango de poros abiertos de acuerdo con el total de porosidad que, por lo general, se establece en torno a un 82,1 a 91,5 % de la masa total, pudiéndose alcanzar un aislamiento acústico de más de 7 dB.⁸

1.5.3. Conductividad térmica

El coeficiente de resistencia a la transmisión de calor es relativamente alto y se hace mayor o menor en razón inversa a la densidad del material. Varios estudios sobre el comportamiento higrotérmico en concreto celular sostienen que los realizados a base de cenizas volantes responden a la humedad con mayor sensibilidad que los de arena. La conductividad térmica se incrementa a medida que aumenta la humedad contenida dentro de los sistemas porosos que conforman la microestructura del material.

En la tabla II se detallan los coeficientes de conductividad térmica del concreto celular considerado un contenido de humedad constante. “De manera

⁷ NARAYANAN y RAMAMURTHY, op. cit.

⁸ JIMÉNEZ, op. cit.,

general el contenido de humedad oscila entre un 3-5 % si las condiciones climáticas exteriores rondan los 23°C con una humedad relativa de un 80 %.”⁹

Tabla II. **Coefficientes de conductividad térmica**

Densidad (kg/m ³)	λ^*	K* a Espesores						
		50 mm	80 mm	100 mm	120 mm	150 mm	180m m	200 mm
300	0.07	1.03	0.70	0.58	0.49	0.40	0.34	0.30
400	0.08	1.21	0.83	0.69	0.58	0.46	0.41	0.37
500	0.10	1.38	0.96	0.80	0.68	0.56	0.48	0.43
600	0.12	1.57	1.12	0.93	0.81	0.67	0.57	0.52
700	0.13	1.23	1.03	0.89	0.74	0.63	0.59	0.47
800	0.15	1.37	1.15	1.00	0.83	0.71	0.65	0.54
900	0.18	1.52	1.30	1.13	0.94	0.81	0.75	0.61
1000	0.21	1.69	1.45	1.27	1.07	0.94	0.85	0.70
1100	0.23	1.82	1.47	1.39	1.17	1.02	0.94	0.78
1200	0.27	2.02	1.75	1.55	1.32	1.15	1.06	0.98
1400	0.35	2.31	2.04	1.83	1.58	1.39	1.29	1.08
1800	0.44	2.08	2.33	2.10	1.04	1.63	1.52	1.29

Fuente: ArCiment. *Hormigón celular*. ar-ciment.blogspot.com/?m=0.

Consulta: 25 de julio de 2016.

1.6. Propiedades mecánicas

1.6.1. Resistencia a la compresión

Los agregados, su tamaño y forma, el método de formación de poros, edad, contenido de agua y características de los elementos de composición, tienen influencia directa en el esfuerzo a compresión. En la tabla III se presentan las dosificaciones realizadas por Celular Concrete LLC utilizando la

⁹ Ibídem.

combinación de agregado y cemento y presentando las características en función de su densidad húmeda y seca.

Tabla III. **Densidad y resistencia a la compresión**

Densidad húmeda		Densidad Seca		Resistencia a compresión			
lb/ft ³	kg/m ³	lb/ft ³	kg/m ³	lb/plg ²		kg/cm ²	
90	1443.58	85	1363.38	400	500	28.18	35.23
95	1523.78	90	1443.58	750	1000	52.84	70.45
100	1603.98	95	1523.78	1000	1500	70.45	105.68
105	1684.18	100	1603.98	1500	2000	105.68	140.91
110	1764.38	105	1684.18	2000	2500	140.91	176.14
115	1844.58	110	1764.38	2500	3000	176.14	211.36
120	1924.78	115	1844.58	3000	3500	211.36	246.59
125	2004.97	120	1924.78	3500	4000	246.59	281.82

Fuente: Mearlcrete Division. *Cellular concrete LLC 2005*. 18 p.

Shubert y Meyer recopilan los resultados sobre el análisis de la resistencia a compresión de la aplicación en mampostería del concreto celular. Los resultados establecen que el esfuerzo a compresión del material varia significativamente dependiendo de los esfuerzos transversales de las unidades de mampostería, junto a las propiedades de deformidad de esta, según el mortero empleado.¹⁰

1.6.2. Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad es limitado (15000 kg/cm²) con respecto al concreto convencional (210000 kg/cm²), debido a su estructura interna y a la reducción de ductilidad si este es curado en autoclave, con densidades por debajo de 1280 kg/m³.

¹⁰ Ibid.

1.6.3. Resistencia a la tensión y flexión

La relación entre esfuerzo a tensión y esfuerzo a compresión es mayor que el concreto convencional, estableciéndose en un rango que oscila entre un 15 a 35 % con respecto al esfuerzo a compresión, mientras que el esfuerzo a flexión equivale a un 20-30 % del esfuerzo a compresión. Estos rasgos son comunes siempre y cuando se mantenga un nivel de humedad inferior al 5 %.¹¹

Por lo regular, la resistencia a la tensión no se toma en cuenta, sin embargo, cuando se requiera mejorarla es conveniente utilizar fibras, principalmente en prefabricados.

1.7. Características funcionales

1.7.1. Absorción de agua y capilaridad

Por su naturaleza el concreto celular presenta una interacción constante dentro de su sistema poroso entre agua y vapor de agua, en estado seco los poros se encuentran vacíos y la difusión de vapor predomina. La absorción es tan variable que dificulta determinar cómo interactúan los parámetros de contenido de agua y transporte de humedad que se producen en el material.

Es aconsejable el uso de un aditivo especial hidrófugo para concreto celular, el cual se adiciona en la mezcladora, logrando una capa de silicona protectora que impide filtraciones de agua en los prefabricados puestos a la intemperie y en contacto con el agua. Cabe mencionar que el concreto celular con el uso del aditivo y con una densidad baja, flota en el agua y se observa la conservación del material contra la humedad.

¹¹PÉREZ, M. *Un repaso al concreto celular. Construcción y tecnología.* P. 55.

Para tener idea del comportamiento del concreto celular con otros materiales de construcción se muestra la tabla IV, la cual presenta coeficientes de absorción de agua de distintos materiales. Las tecnologías de corte permiten el establecimiento de un área superficial de macro y microporos de forma cerrada, garantizando un bajo coeficiente de absorción de agua.

Tabla IV. **Coefficientes de absorción de agua**

Material	$kg/(m^2 - h^{0.5})$
Placa de yeso	35 - 70
Bloque solido	20 - 25
Bloque con huecos	9 - 25
Ladrillo a base de arena y cal	4 - 8
Bloque de concreto celular	2.5 - 2.7
Concreto	0.1 - 0.5
Yeso	35
Morteros a base de cal y cemento	2 - 4
Morteros de cemento	2 - 3
Barniz	0.05 - 0.20

Fuente: JIMÉNEZ, R. *Concreto aireado en autoclave*.

Universidad Politécnica de Cataluña. P. 27

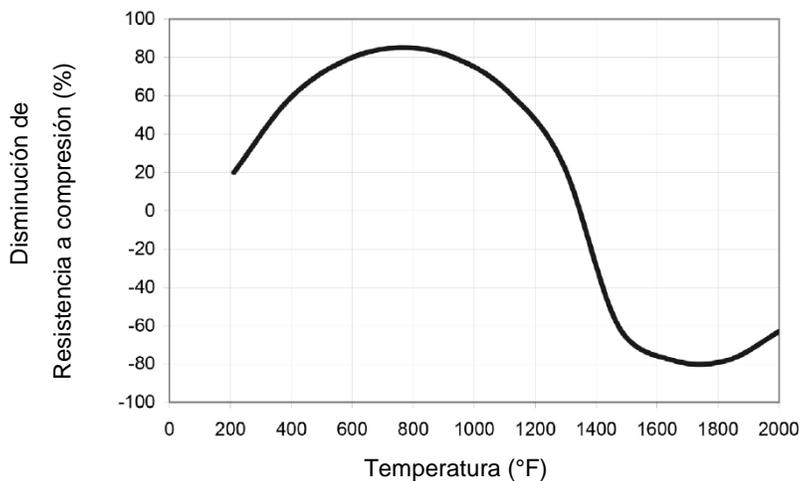
1.7.2. Resistencia al fuego

El concreto celular curado en autoclave posee una temperatura de fusión de unos 1200°C. Su naturaleza mineral y producción a partir de minerales inorgánicos, junto a los bajos coeficientes de conductividad térmica, garantizan un desempeño al menos dos veces superior al concreto convencional ante la resistencia al fuego. En estudios realizados con el objetivo de determinar los efectos del fuego en las propiedades de concreto celular curado en autoclave, se realizaron ensayos en cubos de 50 mm³ a 6 diferentes temperaturas que oscilan entre 100°C y 1000°C. Los bloques sometidos a temperaturas de 100°C

no presentan cambios en su apariencia ni en sus propiedades físicas luego de 30 minutos, por otro lado, los bloques expuestos a 300°C no presentaron cambios de apariencia, pero sí vieron una reducción de esfuerzos a compresión en un 22 %.

En el caso de los bloques expuestos a 500°C se puede notar un cambio de tonalidad, tomando apariencia más oscura. Una reducción de la resistencia a compresión se siguió manteniendo en los bloques expuestos a 700°C donde alcanzó hasta un 35 %. En una temperatura próxima a los 1000°C, el color de los bloques se tornó más claro debido a la descomposición de las reacciones químicas entre la sílice y la cal; de igual manera, se presentaron fisuras junto a la reducción de esfuerzo a compresión en un 46 %.¹² La figura 5 muestra un estudio realizado por la empresa Hebel, indicando el comportamiento de bloques en cuanto a la disminución de la resistencia a compresión cuando se expone a diferentes cambios de temperatura.

Figura 5. **Resistencia a compresión vs Temperatura**



Fuente: JIMÉNEZ, R. *Concreto aireado en autoclave*. Universidad Politécnica de Cataluña. P.

¹² NARAYANAN Y RAMAMURTHY, op. cit.

1.7.3. Trabajabilidad

El concreto celular espumado es ideal para colarse en el sitio, ya que resulta fácil añadir la espuma a la mezcla. El concreto celular espumado, especialmente sin agregado grueso, es bombeable y fácilmente trabajable, como se muestra en la figura 6, por lo que facilita la elaboración de prefabricados como paneles de losa para entrepiso, donde la presión del concreto en estado húmedo es relativamente baja.

Figura 6. **Panel prefabricado de concreto celular**



Fuente: Pan Pacific Management Resources PTY LTD. <http://www.litebuilt.com/esp/contact-esp.html>

Consultado: 09 de septiembre de 2016.

Además, el concreto celular producido con espuma preformada no necesita de cámaras de autoclave, solo requiere un cuarto húmedo o simplemente que los elementos se curen al aire libre, teniendo cuidado de no exponer los especímenes al calor o frío extremo en el tiempo de fraguado.

1.7.4. Desempeño ambiental

La industria se ha visto cada vez más orientada en el establecimiento de soluciones que permitan reducir el impacto sobre el medioambiente basadas en la reducción de emisiones de CO₂, apoyadas en las regulaciones impulsadas por los organismos internacionales de preservación medioambiental. Es primordial la necesaria evaluación de la disposición de los residuos del material a través del triturado y su reintroducción dentro de los procesos de fabricación para otros usos, como la producción de sustratos para cubiertas verdes, o utilización de base o subbases en suelos.

1.8. Producción industrial

Se puede identificar al menos cuatro fases dentro de la producción industrial de concreto celular, estas a la vez abarcan múltiples subprocesos: preparación de materias primas, preparación de la mezcla, preparación de productos terminados y disposición en la obra.

1.8.1. Preparación de materias primas

Consiste en la correcta adecuación de los recursos usados para la producción, se trata de un proceso aislado, ya sea durante la realización de cada una de las etapas restantes del proceso de fabricación de un lote, o teniendo cierta independencia de la cadena de producción. Las fuentes comúnmente utilizadas son de sílice, estas son granuladas en caso de ser requerido, por lo general, la arena requiere granulación que se realiza para que las partículas cumplan con el tamaño adecuado, para este fin se usa un molino de bolas, estando la arena en estado húmedo, como se muestra en la figura 7.

El agente espumante es almacenado en lotes que correspondan con la proporción requerida dentro de la dosificación, al momento de su utilización es mezclado con agua para que abandone su estado sólido y se produzca una especie de lechada, vertida posteriormente en la mezcladora principal, como se observa en la figura 8.

Figura 7. **Molino de bolas para granulado de arena**



Fuente: Archivos BFT, Revista No.11. [www.bft-internacional](http://www.bft-internacional.com).

Consulta: 07 de julio de 2016.

Figura 8. **Almacenaje de espuma y mezcladora principal**



Fuente: Archivos BFT, Revista No.11. [www.bft-internacional](http://www.bft-internacional.com).

Consulta: 07 de julio de 2016.

1.8.2. Dosificación

El cemento Portland y/o la cal son introducidos en una mezcladora de eje vertical con una velocidad de rotación que oscila entre 80 y 90 rpm, junto a las fuentes de sílice en sus proporciones correspondientes. La mezcla generada recibe una dosis mínima y específica de agente espumante en la etapa final previa al vertido. El resultado final es una pasta homogénea tal como se muestra en la figura 9.

Figura 9. **Masa de mezcla vertida en moldes**



Fuente: Archivos BFT, Revista No.11. www.bft-internacional.com.

Consulta: 07 de julio de 2016.

1.8.3. Vertido y colocación en moldes

Los moldes abarcan operaciones de limpieza, engrasado y colocación en la línea de producción como parte previa al vertido; el engrasado se realiza con la utilización de aceites minerales y aceites naturales. Los moldes para vertido son de acero con cuatro caras fijas y una desmontable, la cara desmontable funciona como una compuerta abatible que permite la introducción de los

mecanismos de corte para el dimensionamiento y definición de las piezas prefabricadas.

El monitoreo constante de las condiciones del producto durante el fraguado permite saber el momento adecuado para proceder al corte, por igual se realizan pruebas puntuales sobre el moldeo generado para comprobar que ha alcanzado sus propiedades deseadas. La figura 10 muestra el monitoreo del chequeo de endurecimiento de la torta de concreto celular previo a realización de cortes para la obtención de las unidades prefabricadas.

Figura 10. **Chequeo de endurecimiento de la mezcla**



Fuente: Archivos BFT, Revista No.11. www.bft-internacional.com.

Consulta: 07 de julio de 2016.

1.8.4. Corte

Los cortes verticales y horizontales pueden realizarse uno a continuación de otro o de manera paralela, los cuales se realizan mediante el empleo de cables tensados de acero (ver figura 11); luego del corte se procede al fresado estableciendo el diseño final de las piezas.

Figura 11. Corte vertical mediante cables tensados



Fuente: Archivos BFT, Revista No.11. www.bft-internacional.com.

Consulta: 07 de julio de 2016.

1.8.5. Curado en autoclave

El curado en autoclave permite que la sílice y el calcio se hidraten de manera que formen cálcico hidratado. A partir del dimensionamiento de las piezas y luego del corte se procede a llevar a cabo el proceso de curado mediante cámaras de autoclave, como se ve en la figura 12. Esta se lleva a una temperatura de 190°C durante un período de 10 y 12 horas y a presión constante con un nivel promedio de 12 atmósferas. En el proceso final del curado se procede a una despresurización controlada.

Figura 12. Cámaras de autoclave



Fuente: Archivos BFT, Revista No.11. www.bft-internacional.com.

Consulta: 07 de julio de 2016.

1.8.6. Empaquetado

Consiste en la organización de lotes de acuerdo con los pedidos comerciales, así como su debida preparación para el transporte. En caso de tratarse de elementos reforzados de grandes dimensiones se procede a la colocación sobre paletas y su amarre por medio de cintas, incluyendo contornos para evitar posibles roturas o fisuras por algún impacto durante el transporte (ver figura 13).

Figura 13. Empaquetado de producto



Fuente: Archivos BFT, Revista No.11. www.bft-internacional.com.

Consulta: 07 de julio de 2016.

1.9. Productos ofertados

En paso previo a la evolución de la técnica de fabricación, los productos ofertados de concreto celular se enfocan en soluciones de bloques de mampostería y elementos reforzados a base de paneles que aumentan la demanda diaria. Existen diferentes tipologías de bloques utilizadas de acuerdo con los requerimientos del muro en que se procede a la colocación de instalaciones, armados verticales, colocación de dinteles y demás.

Las propiedades de los bloques de concreto celular se especifican en las normas ASTM C 1386. Los paneles se utilizan por igual para la fabricación de muros, pero también para la fabricación de forjados y cubiertas, estos por lo general engloban los elementos portantes y sus requerimientos se especifican en la norma ASTM C1452.

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Descripción general del trabajo desarrollado

Este capítulo presenta el proceso para determinar las características físicas y mecánicas del concreto celular espumado, utilizando arena pómez como agregado principal, además de ver el comportamiento del material aplicado a la fabricación de unidades de mampostería, enfocándose en la resistencia a compresión y porcentaje de absorción de este.

Los estudios consistieron en determinar la dosificación de mezcla y las principales propiedades del concreto celular en estado fresco y propiedades mecánicas en estado endurecido. Las siguientes páginas incluyen información sobre propiedades de los materiales utilizados, diseño de mezclas, ensayos sobre el concreto fresco, ensayos sobre concreto endurecido y ensayos aplicados a unidades de mampostería. Cada uno de estos comprende la descripción de los ensayos, así como el análisis, comparación y discusión de los resultados obtenidos.

2.2. Materiales utilizados

De los materiales utilizados en la elaboración de concreto celular de espuma preformada algunos son imprescindibles (espuma preformada) para lograr una mezcla de concreto con las características buscadas, otros no, sin embargo, se pueden utilizar combinaciones en la mezcla para mejorar las características del concreto celular.

2.2.1. Agregados

2.2.1.1. Agregado fino

Como se ha hecho hincapié, se utilizó arena pómez como agregado principal en la mezcla, ya que es un material abundante en la ciudad de Guatemala. Para este estudio se realizó el análisis completo de este agregado, eligiéndolo con base en la norma COGUANOR NTG 41063 (Agregados livianos para fabricación de unidades de mampostería de concreto).

La arena pómez procede del banco de material, Arenera El Carmen, ubicada en la Aldea Bárcenas del Municipio de Villa Nueva, Ciudad de Guatemala. La tabla V muestra el análisis completo del agregado conforme a la norma NTG 41007 h1 (ASTM C-33), teniendo las siguientes características:

Tabla V. **Características físicas de arena pómez**

Ítem	Características físicas	
1	Densidad relativa (sss)	1.60
2	Densidad (sss) (kg/m ³)	1600.00
3	Masa unitaria, compactada (kg/m ³)	800.00
4	Masa unitaria, suelta (kg/m ³)	730.00
5	Porcentaje de vacíos, compactado (%)	50.00
6	Porcentaje de vacíos, suelto (%)	54.00
7	Porcentaje de absorción (%)	23.40
8	Contenido de materia orgánica	1.00
9	Pasa tamiz #200 (%)	1.00
10	Retenido tamiz 6.35 (%)	6.00
11	Módulo de finura	3.34

Fuente: elaboración propia.

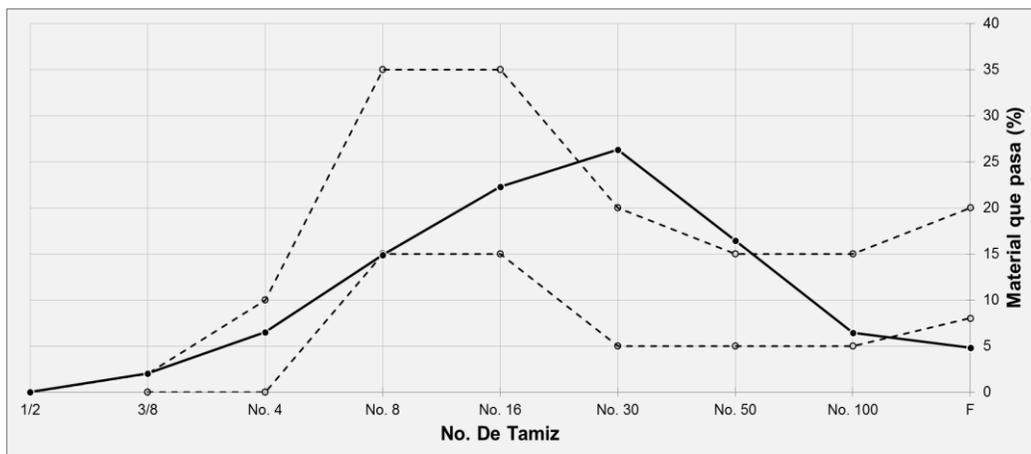
A continuación se presenta su composición granulométrica y los límites de agregado fino de la norma COGUANOR NTG 41063:

Tabla VI. **Granulometría de arena pómez**

Tamiz No.	Retenido individual (%)	Retenido Acumulado (%)	Material que pasa (%)	Límites NTG 41063 (material retenido individual)	
				Inferior (%)	Superior (%)
9.5	2.00	2.00	98.00	0.00	2.00
4.75	6.53	8.53	91.47	0.00	10.00
2.36	14.86	23.39	76.61	15.00	35.00
1.18	22.61	46.00	54.00	15.00	35.00
0.6	26.31	72.31	27.69	5.00	20.00
0.3	16.44	88.75	11.25	5.00	15.00
0.15	6.45	95.20	4.80	5.00	15.00
Fondo	4.80	100.00	0.00	8.00	20.00

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Granulometría de arena pómez**



Fuente: elaboración propia.

Además, se consultaron datos de ensayos anteriores del mismo material, en cuanto a características físicas; estos estudios también detallan la composición química del material (ver tabla VII). Cabe destacar que se recomienda para la fabricación de concreto celular arena sílice, teniendo la arena pómez un alto porcentaje de este. La tabla VIII presenta el promedio de los estudios de análisis físicos y químicos ensayados:

Tabla VII. **Otros ensayos de laboratorio de arena pómez**

Características Físicas								
Ítem	Banco de material	Densidad relativa (sss)	Masa unitaria, compactada (kg/m ³)	% de vacíos	% de absorción	Materia orgánica	Módulo de finura	
1	Mixco	1.56	852.53	48.93	21.50	no	3.06	
2	Castañas	1.64	811.44	51.68	19.00	no	3.20	
3	Villalobos	Gruesa	1.33	604.31	55.54	24.00	no	3.05
4		fina	1.90	862.80	51.78	10.00	no	3.05

Fuente: MORALES, Bernardo. *Mezclas de concreto liviano de piedra pómez del valle de Guatemala, abril 1962*. P. 10-A

Tabla VIII. **Composición química de arena pómez**

Ítem	Sílice (SiO ₂) (%)	Calcio (CaO) (%)	Magnesio (MgO) (%)	Álcalis (K ₂ O=Na ₂ O) (%)	Hierro y Aluminio (FeO ₃ +Al ₂ O ₃) (%)
1	53.98	5.25	2.75	9.38	21.38
2	53.98	5.58	2.42	9.20	22.42
3	57.55	2.10	1.16	11.08	24.00
4	54.65	4.09	1.00	10.25	27.15

Fuente: MORALES, Bernardo. *Mezclas de concreto liviano de piedra pómez del valle de Guatemala, abril 1962*. P. 10-A

2.2.1.2. Agregado grueso

En países europeos y norteamericanos, los concretos celulares no contienen agregados gruesos en su dosificación, incorporando el uso de fibras y métodos de producción que mejoran este concreto, pero aumentan el costo, a discreción se considera la falta de utilización de estos, pues encarecen la mezcla y aumentan su potencial de sufrir problemas por contracción plástica (agrietamientos). Por lo anterior se decidió incluir agregado grueso en la mezcla. El material seleccionado como agregado grueso para este proyecto fue pedrín basáltico de granulometría nominal de 9,50 mm (3/8 pulg.), la medida indicada se decidió debido a la aplicación que se quiere dar. El agregado grueso presentó las siguientes características:

Tabla IX. **Características físicas de agregado grueso**

Ítem	Características Físicas	
1	Densidad relativa (sss)	2.59
2	Densidad (sss) (kg/m ³)	2580.00
3	Masa unitaria, compactada (kg/m ³)	1500.00
4	Masa unitaria, suelta (kg/m ³)	1420.00
5	Porcentaje de vacíos, compactado (%)	42.00
6	Porcentaje de vacíos, suelto (%)	45.00
7	Porcentaje de absorción (%)	1.40
9	Pasa tamiz #200 (%)	0.40
10	Retenido tamiz 6.35 (%)	45.80
11	Módulo de finura	6.00

Fuente: elaboración propia.

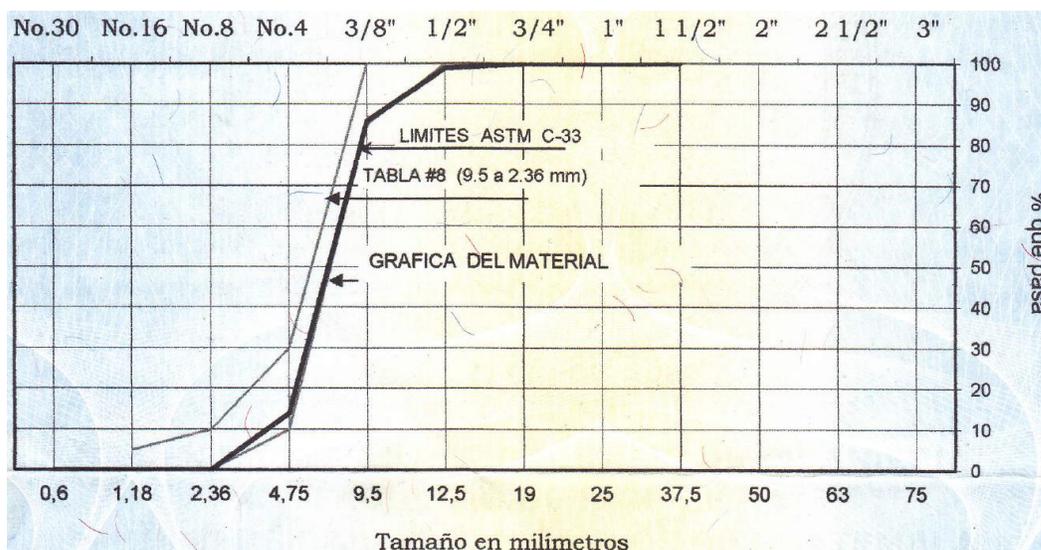
Por su granulometría, su curva debería estar entre los límites que marcan las especificaciones para agregado grueso de 9,5 mm. La tabla X y la figura 15 describen su comportamiento, considerándose aceptable.

Tabla X. **Granulometría de agregado grueso**

Tamiz No.	Retenido individual (%)	Retenido Acumulado (%)	Material que pasa (%)
19.00			100.00
12.50	1.00	1.00	99.00
9.50	13.00	14.00	86.00
4.75	72.00	86.00	14.00
2.36	14.00	100.00	0.00
1.18	0.00	100.00	0.00
Fondo	0.00	100.00	0.00

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Granulometría de agregado grueso**



Fuente: Informe del CII, 14 de noviembre de 2016, USAC.

La figura 16 muestra el agregado fino y agregado grueso utilizados para tener una caracterización visual de la materia prima.

Figura 16. **Agregado fino y grueso utilizados**



Fuente: elaboración propia.

2.2.2. **Material cementante**

El cemento utilizado para el desarrollo experimental es Portland tipo I (PM): cemento modificado con puzolana para uso general en la construcción, que puede considerarse de moderada resistencia a los sulfatos, aire incluido o moderado calor de hidratación o cualquiera de sus combinaciones; según la Norma NTG 41095, este cumple con la resistencia de 4060 libras por pulgada cuadrada a los 28 días, con características físicas descritas en la tabla XI.

Tabla XI. **Características físicas de cemento utilizado**

1	Clasificación	Portland Tipo I (PM)
2	Peso específico	3.11
3	Peso específico aparente (kg/m ³)	1510.78
4	Consistencia normal (%)	27
5	Tiempo de fraguado Vicat, inicial y final (min)	45-420
6	Índice de blancura mínima %	70
7	Finura (pasado en tamiz #200, %)	100-95

Fuente: elaboración propia.

Para la fabricación de concreto celular se recomienda usar cemento de fraguado inicial alto (cemento Portland tipo III), debido al estado fluido del mismo. En este caso se prefirió realizar el experimento con materiales que se encuentran a inmediata adquisición.

2.2.3. Aditivos utilizados

2.2.3.1. Agente espumante

En el experimento se utilizó el agente espumante altamente concentrado, el fabricante recomienda su uso como agente espesante para materiales controlados de baja resistencia y producción de concreto celular. Se puede utilizar con varios tipos de equipos generadores de espuma, especialmente con aquellos que trabajan con aire a presión, cumpliendo con las especificaciones ASTM C 869 “*Standard Specification for Foaming Agents Used in Making Preformed Foam for Cellular Concrete*”, teniendo las siguientes características:

Tabla XII. **Características del aditivo espumante**

1	Presentación	Concentrado líquido, color ámbar
2	Densidad final (kg/m ³)(proceso espumado, esperado)	641 ± 48
3	Densidad seca al horno (kg/m ³)	487 ± 40
4	Resistencia a compresión, mínima (Mpa)	1.4
5	Absorción de agua	25 % del volumen
6	Pérdida de aire durante el bombeo	4.5 % del volumen
7	Dosificación recomendada por el fabricante para la obtención de concreto celular	6 ml/kg cemento

Fuente: elaboración propia.

La cantidad de aditivo utilizado para producir la espuma y añadirse a la mezcla se da en relación de 1:20 a 1:40, es decir que por cada litro de aditivo se añaden de 20 a 40 litros de agua, luego se realiza el proceso de generación de la espuma, presentando un volumen de expansión de 20 a 25 de la solución diluida (ver figura 17). Es necesario tener un control en el agua, ya que, si se agrega de más, la espuma será acuosa y frágil, y si es menor esta no producirá la consistencia esperada, verificando su densidad en todo el proceso.

Figura 17. **Agente espumante utilizado**



Fuente: elaboración propia.

2.2.3.2. **Reductor de agua**

En el experimento se utilizó un aditivo reductor de agua de alta eficiencia, Tipo F, al igual que el agente espumante se adquirió en la misma empresa, la cual afirmó compatibilidad de estos productos; este aditivo supera las especificaciones de ASTM C 494. El principal motivo por el cual se utilizó un reductor de agua fue para tener la relación agua-cemento baja, sin sacrificar la trabajabilidad de las mezclas, ya que la espuma pierde eficiencia en mezclas de

concretos muy secas, de allí que existen relaciones de agua-cemento altas convirtiéndolos en mezclas fluidas; además, el agregado fino utilizado tiene un alto porcentaje de absorción, que es otro factor que tomar en cuenta que aumentará la demanda de agua. El aditivo utilizado presenta las siguientes características:

Tabla XIII. **Características de aditivo reductor de agua**

1	Presentación	Concentrado líquido, color café*
2	Dosificación recomendada	200 a 800 ml/100 kg cemento
3	Temperatura de almacenaje	Superiores a 5°C
4	Vida útil	6 meses (mínimo)
5	Reducción lineal de agua	✓
6	Rehología controlada	✓
7	Resistencia inicial alta	✓
8	No contiene cloruros	✓

*Ver figura 18

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Aditivo reductor de agua de alto rango**



Fuente: elaboración propia.

2.3. Mezclas de concreto celular

2.3.1. Metodología experimental

Estudiado el diseño de mezcla con base en el comité ACI 523.3R-14, se dispone el experimento con base en la metodología de diseño factorial, la cual especifica establecer los factores que se variaron en el experimento, los intervalos de dicha variación y los niveles específicos a los cuales se experimentó, asimismo, es necesario buscar la forma de controlar estos factores en los valores deseados, con el fin de simplificar el experimento.

2.3.1.1. Elección de factores y niveles

En el diseño de una mezcla de concreto intervienen muchos factores, y se decidió que los factores importantes en este experimento fueran:

- a. Consumo de cemento
- b. Variación volumétrica de agregados

¿Cómo se llegó a estas variables independientes? Con base en documentación y experiencias preliminares que sirvieron de caracterización, estos factores tienen incidencia en el peso volumétrico y la resistencia a compresión de la mezcla resultante. También se sabía que a mayor contenido de cemento y menor relación agua/cemento se incrementaba la resistencia, pero aumentaba el peso volumétrico y, a la vez, al incrementar el volumen de espuma disminuía el peso volumétrico, pero también la resistencia a compresión. Se tomó en cuenta que no se tenían datos sobre la resistencia a compresión de concreto celular de espuma preformada utilizando arena pómez como agregado, por ello el consumo de cemento incidió en este resultado.

2.3.2. Parámetros de diseño

Es necesario conocer el peso específico de los materiales en estado saturado y de superficie seca (sss), el porcentaje de absorción y la humedad. Asimismo, se requiere establecer el porcentaje de vacíos (aire), con la mayor exactitud.

También es útil establecer la densidad de la espuma en función al tiempo de generación de esta y el tiempo de mezclado con agregados y aglomerante. La espuma no debe ser irregular, ni de paredes finas, y no debe existir mucha coalescencia entre sus cavidades. El proceso de diseño de mezcla se describe en la guía para fabricación de concretos celulares arriba de los 800 kg/m³, ACI 523.3R-14, recomendando los siguientes pasos:

- a. Establecer la resistencia a compresión y uso que se le dará a la mezcla
- b. Asumir una relación agua / cemento
- c. Calcular la cantidad de cemento y arena
- d. Calcular el volumen absoluto de los sólidos por unidad de volumen
- e. Calcular el volumen de la espuma por unidad de volumen
- f. Ajustar la cantidad de agua en la mezcla
- g. Estimar el peso volumétrico a obtener
- h. Realizar correcciones de agua

Esta dosificación es utilizada para establecer una “proporción de materiales” en peso y establecer el volumen de espuma requerido en función de consumo de cemento para una densidad requerida en un volumen absoluto. La tabla XIV muestra la dosificación de materiales para un metro cúbico, siguiendo el procedimiento descrito:

Tabla XIV. Dosificación base, ACI 523.3R-14 para un m³ de mezcla

Identificación de la mezcla		C.c tipo A		
Datos	G.E. (γ)	P.U.	Abs	Hum
Materiales	-	(kg/m ³)	(%)	(%)
Cemento	3.15	1600.00	-	-
Arena pomez	1.635	800.00	18.95	4.65
Agua (Potable)	1.00	1000.00	-	-
Espuma preformada	1.81	35.00	-	-

Características de la mezcla

¹ P. Volumetrico humedo	1500.00 kg/m ³	Aire atrapado	1.00%
¹ Relacion agua/ cemento	0.500	Aire incluido	11.10%
¹ Relacion arena/cemento	2.397		
Rendimiento de Espuma	0.95	Total de aire	12.10%

Diseño de mezcla

Resistencia a compresion	94.00 kg/cm ²	contenido de cemento	384.90
Relacion w/c	0.5	cantidad de arena	922.65
Relacion s/c	2.397	Cantidad de agua	192.45
Densidad seca	1378 kg/m ³	Volumen de solidos	0.879
Volumen de aire requerido	0.111 m ³	Volumen de la espuma	0.117
		Peso de espuma	4.091 kg

Pesos y volúmenes absolutos para 1 m³ de concreto

Pesos y volúmenes absolutos (secos)		
Materiales	Peso (kg)	Vol. (m ³)
Cemento	384.90	0.122
Arena pomez	922.65	0.564
Agua (Potable)	192.45	0.192
Aire atrapado	-	0.010
Espuma preformada	4.09	0.117
	1504.09	1.006

Correcciones

Materiales	correcciones		Total	
	Humedad	Espuma	Peso (kg)	Vol. (m ³)
Cemento	-	-	384.90	0.122
Arena pomez	42.90	-	965.55	0.591
Agua mezcla (Potable)	-42.90	-4.0912	145.46	0.145
Aire atrapado	-	-	-	0.010
Espuma preformada	-	-	4.09	0.117
Agua de absorcion			32.38	0.032
			1500.00	1.017

Proporcion (peso)	1	2.51	0.46	0.011
Proporcion (volumen)	1	4.83	1.46	1.038

Fuente: elaboración propia.

El valor de $f'c$ mostrado en la dosificación es un valor que se encuentra en función de la densidad del concreto en estado fresco, usando como agregados humo de sílice, basado en resultados de la investigación publicada por McCormick en 1967: *Rational roportioning of preformed foam cellular Concrete.*” *ACI Journal.*¹³

El diseño de mezcla establecido no hace uso de agregado grueso, en las dosificaciones preliminares se utilizará solamente agregado fino, en este caso arena pómez pasada por el tamiz de 9,5 mm. Teniendo la dosificación base definida, se tomaron los valores de la proporción en peso 1 : 2.51 : 0.46, para establecer la cantidad de volumen requerido en función al consumo de cemento, siguiendo el siguiente procedimiento:

$$vc + vs + vw + ve = 1000 (l), \text{volumen} = \frac{\text{masa}}{\text{densidad}}$$

Donde:

$$\frac{mc}{dc} + \frac{ms}{ds} + \frac{mw}{dw} + \frac{me}{de} = 1000 (l)$$

$m = \text{masa}$

$v = \text{volumen}$

$d = \text{densidad especifica}$

$c = \text{cemento}$

$s = \text{arena}$

$w = \text{agua}$

$e = \text{espuma}$

Como:

$$ms = 2.51mc \quad y \quad \frac{mw}{mc} = \frac{w}{c} = 0.46$$

$$\frac{mc}{dc} + \frac{2.51mc}{ds} + \frac{\left(\frac{w}{c}\right) * mc}{dw} + ve = 1000 (l)$$

Se tiene el volumen de la espuma requerido para un volumen absoluto en función al consumo de cemento:

$$ve = 1000 - mc * \left(\frac{1}{dc} + \frac{2.51}{ds} + \frac{0.46}{dw} \right)$$

¹³ American Concrete Institute. Comité ACI 523.3, 2014. P. 8.

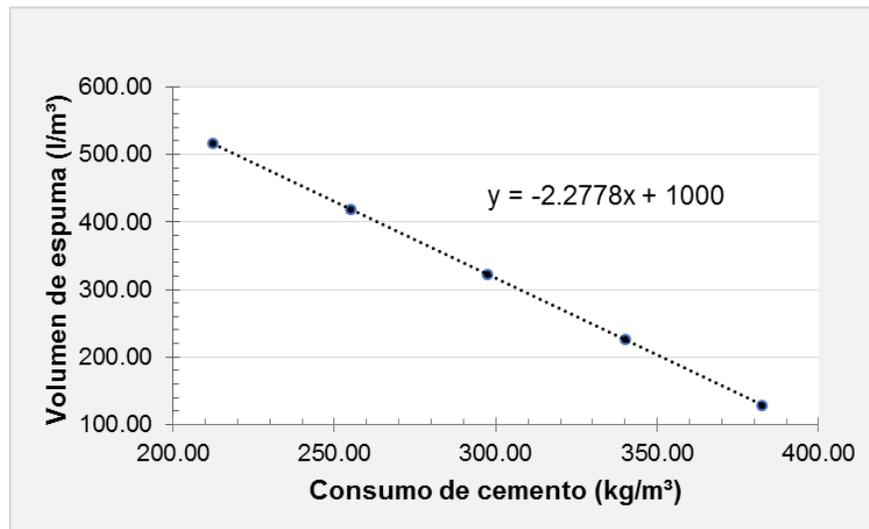
Los valores de consumo de cemento se establecen en la tabla XV, para el experimento se eligió la variación de una unidad comercial, sacos de 42.5 kg, para cada dosificación de 1 m³ de mezcla, donde se muestran el volumen de espuma requerido para cada punto de consumo. La figura 19 muestra el comportamiento lineal de la proporción utilizada en función al consumo de cemento y volumen requerido por metro cúbico.

Tabla XV. **Consumo de cemento y espuma por m³ de mezcla**

Identificación		Cemento (kg/m ³)	Vol. Espuma (l/m ³)
Mezcla A	9 sacos/m ³	382.50	128.76
Mezcla B	8 sacos/m ³	340.00	225.56
Mezcla C	7 sacos/m ³	297.50	322.37
Mezcla D	6 sacos/m ³	255.00	419.17
Mezcla E	5 sacos/m ³	212.50	515.98

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Volumen de espuma vrs Consumo de cemento por m³ de mezcla**



Fuente: elaboración propia.

2.3.3. Mezclas preliminares

Con base en la proporción utilizada (1:2.51:0.46) y el volumen de espuma en función del consumo de cemento, se establecieron las dosificaciones preliminares, mostradas en la tabla XVI, a las cuales se les realizó correcciones por humedad y absorción, además de la corrección por el agua utilizada en la formación de la espuma.

El método del ACI para el diseño de mezclas de concreto considera a los agregados en su condición ideal, es decir saturada superficialmente seca (no absorbe ni aumenta el volumen de agua), pero los agregados pueden estar en cualquier condición de humedad, afectando directamente el agua de diseño, además de que las mezclas se realizaron en varios días aleatoriamente, por lo tanto la humedad no es la misma, por ello se realizaron las correcciones por humedad y absorción dadas las siguientes ecuaciones:

$$Ah = As + (\%Hc * As) \quad (1)$$

$$Agua\ de\ absorcion = \frac{Ah * (\%Abs)}{1 + (\%Hc)} \quad (2)$$

Donde:

Ah = Arena de humedad actual

$\%Abs$ = Porcentaje de absorción

$\%Hc$ = Porcentaje de humedad contenida

La corrección por la espuma preformada es simplemente el peso de la espuma menos el agua de diseño de la mezcla. Las ecuaciones (1,2) fueron tomadas de la tesis: *Concreto liviano de pómez, métodos de proporcionamiento y corrección de mezclas*, de Aníbal Rodas Mazariegos, realizada en 1969 en la USAC.

Tabla XVI. **Dosificaciones preliminares para un m³ de mezcla**

Pesos y volúmenes	Tipo A		Tipo B		Tipo C		Tipo D		Tipo E	
	Peso (kg)	Vol. (l)								
Cemento Tipo I (PM)	382.50	121.43	340.00	107.94	297.50	94.44	255.00	80.95	212.50	67.46
Arena pómez	960.08	573.86	853.40	510.10	746.73	446.34	640.05	382.58	533.38	318.81
Agua (Potable)	175.95	175.95	156.40	156.40	136.85	136.85	117.30	117.30	97.75	97.75
Espuma prefor.	4.51	128.76	7.89	225.56	11.28	322.37	14.67	419.17	18.06	515.98
	1523.03	1000.00	1357.69	1000.00	1192.36	1000.00	1027.02	1000.00	861.68	1000.00

Correcciones

Hum, %	4.65
Abs, %	18.95

Identificación	Tipo A		Tipo B		Tipo C		Tipo D		Tipo E	
	Peso (kg)		Peso (kg)		Peso (kg)		Peso (kg)		Peso (kg)	
Cemento Tipo I (PM)	382.50		340.00		297.50		255.00		212.50	
Arena pómez	1004.72		893.08		781.45		669.81		558.18	
Agua (Potable)	126.80		108.82		90.84		72.87		54.89	
Espuma prefor.	4.51		7.89		11.28		14.67		18.06	
Agua de absorción	33.70		29.95		26.21		22.47		18.72	
Peso unitario (kg/m ³)	1552.22		1379.75		1207.28		1034.82		862.35	
Densidad seca (kg/m ³)	1387.22		1233.08		1078.95		924.81		770.68	

Fuente: elaboración propia.

2.3.4. Diseño teórico de mezclas

Observando el comportamiento de las mezclas preliminares se optó por analizar la mezcla tipo B, por tener una mejor consistencia en estado fresco y mayor resistencia a compresión, en comparación con las otras mezclas con un peso volumétrico debajo de los 1400 kg/m³.

Al diseño de mezclas se varió en un porcentaje volumétrico el contenido de arena por agregado grueso, para observar si aumenta la resistencia y si es factible hacer el uso de este para futuras mezclas. La variación volumétrica del agregado se llevó sustituyendo un 20, 25 y 30 % de agregado grueso al volumen de arena por metro cúbico de la mezcla tipo B, valor que aumenta el peso volumétrico de la misma. Se utilizó la misma cantidad de cemento para las mezclas, siendo este de 340 kg/m³. También se optó por tener una relación agua/cemento de 0,65 y usar el aditivo reductor de agua, reduciendo el valor en un 30 % el agua de diseño, siendo finalmente la relación agua/cemento de 0,46. Las dosificaciones de mezclas se muestran en la tabla XVII.

2.4. Ensayos de laboratorio

Los ensayos de concreto fueron realizados en la Sección de Agregados, Concretos y Morteros del Centro de Investigaciones de Ingeniería, las cuales se dividen en ensayos a concreto fresco y ensayos a concreto endurecido. Los resultados obtenidos en los ensayos dan parámetros del comportamiento de la mezcla con las dosificaciones optadas, para así modificar estas para tener un mejor control en la calidad o buscar mejorar características específicas, además de realizar una comparación entre sí.

Tabla XVII. Dosificaciones analizadas para un m³ de mezcla

Identificación	Tipo B		M_B-80,20		M_B-75,25		M_B-70,30	
	Peso (kg)	Vol. (l)						
Cemento Tipo I (PM)	340.00	107.94	340.00	107.94	340.00	107.94	340.00	107.94
Arena pómez	853.40	510.10	682.72	408.08	640.05	382.58	597.38	357.07
Grava (Basáltico 3/8)	0	0	264.23	102.02	330.29	127.53	396.35	153.03
Agua (Potable)	156.40	156.40	156.40	156.40	156.40	156.40	156.40	156.40
Espuma prefor.	7.89	225.56	7.89	225.56	7.89	225.56	7.89	225.56
	1357.69	1000.00	1451.25	1000.00	1474.64	1000.00	1498.02	1000.00

Correcciones	Hum, %	Abs, %
Arena pómez	4.65	18.95
Grava (Basalto 3/8)	0.45	1.40

Identificación	Tipo B	M_B-80,20	M_B-75,25	M_B-70,30
Materiales	Peso (kg)	Peso (kg)	Peso (kg)	Peso (kg)
Cemento Tipo I (PM)	340.00	340.00	340.00	340.00
Arena pómez	893.08	714.47	669.81	625.16
Grava (Basáltico 3/8)	0.00	265.42	331.78	398.13
Agua (Potable)	108.82	115.57	117.26	118.94
Espuma prefor.	7.89	7.89	7.89	7.89
Agua de absorción	29.95	26.53	25.67	24.81
Aditivo fluidificante (l)	0.946	1.005	1.020	1.034
Peso unitario (kg/m ³)	1380.70	1470.88	1493.43	1515.97
Densidad seca (kg/m ³)	1234.03	1320.89	1342.61	1364.32

Fuente: elaboración propia.

2.4.1. Ensayos al concreto fresco

El concreto celular fresco debe ser fluido generalmente autocompactable, manteniendo una apariencia uniforme en su totalidad de la masa, y sus componentes deben estar distribuidos uniformemente, en este caso el parámetro de apariencia física se centrará en la mejor distribución de burbujas de aire por la espuma utilizada.

2.4.1.1. Flujo de asentamiento del concreto autoconsolidante NTG 41017 h22

Elaborada la mezcla, se evaluó la consistencia mediante la prueba de flujo del asentamiento, con la cual se mide el grado de fluidez de la mezcla. La muestra se debe extraer directamente de la mezcladora en el momento de la descarga, nunca se debe extraer en concretos ya colocados. Si el ensayo tiene objeto de verificar la uniformidad, la muestra debe tomarse a la mitad de la mezcladora. Una muestra de concreto recién mezclado se coloca en un molde cónico de asentamiento en posición recta normal o invertida, de una sola vez, sin apisonamiento o vibración. Se levanta el molde y se deja fluir (ver figura 20).

Después que el esparcimiento del concreto cesa se miden dos diámetros de la masa de concreto en direcciones aproximadamente ortogonales; el flujo de asentamiento es el promedio de los dos diámetros. Además del flujo de asentamiento, se puede medir la velocidad con la cual se esparce, que se relaciona directamente con el valor de viscosidad relativa que tiene la mezcla de concreto autoconsolidante. Antes de llenar el molde es preciso humedecerlo interiormente para evitar el rozamiento con la superficie.

Figura 20. **Flujo del asentamiento de concreto celular**



Fuente: elaboración propia.

Advertencia: el concreto utilizado para esta prueba no debe ser utilizado para el llenado de especímenes para el ensayo de resistencia.

2.4.1.2. Temperatura NTG 41053

La temperatura final de la mezcla se calculará de acuerdo con la temperatura de los componentes y vendrá limitada a fin de no tener un calentamiento excesivo durante el fraguado, principalmente para ver que la reacción de los aditivos sea la esperada.

El ensayo consiste en introducir un termómetro en el concreto fresco, la varilla sensorial del termómetro debe estar cubierta por la mezcla al menos 8 cm (ver figura 21). Luego de dos minutos se procede a tomar la lectura, se debe tener en cuenta que esta se realiza en la mezcla y no fuera de ella. La temperatura medida representa la temperatura al tiempo del ensayo.

Figura 21. **Ensayo de temperatura**



Fuente: elaboración propia.

2.4.1.3. Densidad aparente NTG 41017 h5

Este ensayo se utiliza para la determinación de densidad aparente y masa por unidad de volumen del concreto recién mezclado y sirve para comparar el valor con el diseño, además este normativo proporciona los cálculos de rendimiento de la mezcla, la cual es el volumen del concreto producido con cantidades conocidas de los materiales que lo componen. Si la densidad aparente no es la esperada, se tiene que tomar en consideración la revisión teórica de la mezcla y modificarla según el resultado.

El ensayo consiste en llenar un recipiente de dimensiones conocidas con 3 capas de concreto, cada capa se golpeará con un mazo de hule a los lados en vez del apisonamiento de 25 veces con la varilla de cabeza semiesférica, por ser un concreto fluido para disminuir la cantidad de vacíos generados por colocación. Luego se pesa el recipiente con concreto y el recipiente vacío (ver figura 22).

Figura 22. **Ensayó de densidad aparente**



Fuente: Portland Cement Association. *Diseño y control de mezclas de concreto*. Primera edición, 331 p.

2.4.1.4. Contenido de aire NTG 41017 h

La finalidad del ensayo consiste en la determinación del contenido de aire en el concreto recién mezclado, mediante la observación del cambio de volumen del concreto producido por un cambio de presión, excluyendo cualquier aire que se encuentre dentro de los vacíos de los agregados. Este ensayo es exclusivo para partículas densas, para concretos celular o liviano debe de usarse el ensayo NTG 41017 h6 (ASTM C 173).

Los datos recopilados tienen fines comparativos entre las diferentes mezclas, no pudiéndose de momento dar valores recomendables para límites de remezclado, y se recomienda un estudio posterior que los establezca, debido a que no se siguió el ensayo por falta de equipo necesario para realizar la prueba, por ello se optó por la realización del ensayo según normativo NTG 41017 h5 (ASTM C 138).

El ensayo se realiza en un recipiente de 7 litros de capacidad y un medidor de presión tipo B, el concreto en el recipiente es sometido a presión para llenar todos los vacíos que dejó el concreto, incluyendo los poros de los agregados. Con el medidor tipo B se puede leer el contenido de aire directamente cuando se aplica la presión (ver figura 23).

Figura 23. **Contenido de aire**



Fuente: elaboración propia

2.4.1.5. Porcentaje de exudación NTG 41017 h9

La tendencia del agua a ascender a la superficie del concreto fresco es lo que se conoce como afloramiento o exudación de agua, que es el resultado de la inhabilidad de los materiales constituyentes para retener toda el agua dispersada en la mezcla. La compactación de concreto producida por la sedimentación de las partículas de agregado hasta que entren en contacto unas con otras, o hasta el endurecimiento de la pasta que impida que siga el asentamiento, son los fenómenos que producen una disminución de volumen

en el concreto y la expulsión de agua sobrante a la superficie. La temperatura ambiente y la humedad relativa atmosférica también influyen en la exudación.

Durante el ensayo, se mantiene la temperatura ambiente entre 18 y 24°C, inmediatamente después de la mezcla se coloca el espécimen en su recipiente sobre una plataforma nivelada o sobre un piso libre de cualquier vibración perceptible y se cubre el recipiente para prevenir la evaporación del agua exudada (ver figura 24). Se mantiene la tapa del recipiente durante todo el ensayo salvo cuando se extrae el agua exudada. El agua que se acumula en la superficie se extrae (con una pipeta o instrumento similar) a intervalos de 10 min durante los primeros 40 min y luego a intervalos de 30 min hasta que se termina la exudación, anotando el tiempo de la última observación.

Figura 24. **Ensayo de exudación**



Fuente: Portland Cement Association. *Diseño y control de mezclas de concreto*. Primera edición. P. 337

2.4.1.6. Velocidad de endurecimiento inicial NTG 41017 h12

De la determinación de la velocidad de endurecimiento se puede establecer, para condiciones de ambiente dadas, el tiempo que puede permanecer una mezcla sin perder su trabajabilidad, y sin perjudicar su calidad y resistencia. Por su naturaleza el concreto celular puede mezclarse o revibrarse en un lapso mucho mayor de tiempo que el concreto normal, es de esperarse que pasado un tiempo límite el fraguado del cemento avanzará a tal grado que un remezclado alteraría la cohesión y adherencia de la mezcla.

De la masa utilizada para los especímenes a compresión se tamizó la mezcla por el tamiz 4,75 mm, hasta obtener un mortero y colocarlo en una vigueta de 15x15x60 cm. Cabe indicar que el recipiente debe estar lleno por lo menos en 15 cm de altura, la muestra es colocada a temperatura ambiente y trata de evitar la evaporación superficial, para este fin es usando un paño o una tapa, para evitar el secado superficial por contacto con el ambiente. Al mortero obtenido se le retira la exudación que se tenga con una pipeta inclinando la muestra para su fácil extracción. La resistencia a la penetración se mide con un penetrómetro, para lo cual se puede cambiar el área de contacto según sea la presión requerida en los intervalos de tiempo.

La primera penetración se realiza de 3 a 5 horas después del contacto del agua con el cemento. Luego las lecturas se toman en intervalos de 30 minutos, con un mínimo de 6 lecturas. Las agujas del penetrómetro varían según el área superficial de contacto, que va de 1 pulg² a 1/40 pulg². Se pueden realizar innumerables lecturas hasta alcanzar la resistencia de 280 kg/cm² (4000 psi), y se da por concluido el ensayo (ver figura 25).

Figura 25. **Velocidad de endurecimiento inicial**



Fuente: elaboración propia.

2.4.2. Ensayos al concreto endurecido

2.4.2.1. Resistencia a compresión de cilindros de concreto NTG 41017 h1

Uno de los parámetros más importantes de la caracterización de los materiales es la prueba de compresión. Dicho parámetro refleja en cierta medida la durabilidad y la resistencia al agrietamiento. El concreto está sometido principalmente a cargas de compresión y, por lo tanto, a este ensayo se le da más importancia. Se utilizan probetas con cilindros de 15x30 cm conforme a lo prescrito por la norma NTG 41017 h1 (ver figura 26 (a y b)), solamente se introdujo modificación en el método de llenado y apisonado en los moldes, y por ser un concreto fluido únicamente se utilizó el mazo de hule en vez del apisonamiento. Las pruebas preliminares se realizaron con cilindros de 4"x8".

El concreto celular tiene una gran cantidad de vacíos, absorbe y retiene fuertes cantidades de agua por la rotura de las probetas que han sido dejadas

en agua (sobresaturadas), rompiéndolas en estado seco saturado. En concreto normal la resistencia en este estado varía en 3 a 5 %, siendo el valor de resistencia más bajo que en estado seco.

La prueba consiste en aplicar una carga axial a los cilindros de concreto a una velocidad determinada hasta que ocurra la falla (ver figura 26 (c)), para una correcta aplicación de la carga sobre el espécimen es necesario cabecear los cilindros como lo especifica la norma NTG 41064 (ASTM C 617). Se moldean sus extremos con un compuesto de azufre fundido, dejando a cada extremo una capa lo suficientemente delgada y resistente que garantice los planos de apoyo al cilindro y que estos sean perfectamente paralelos entre sí. Las edades de los cilindros ensayados son: 3, 7, 28 y 56 días, ensayándose dos cilindros por edad.

Figura 26. **Resistencia a compresión**



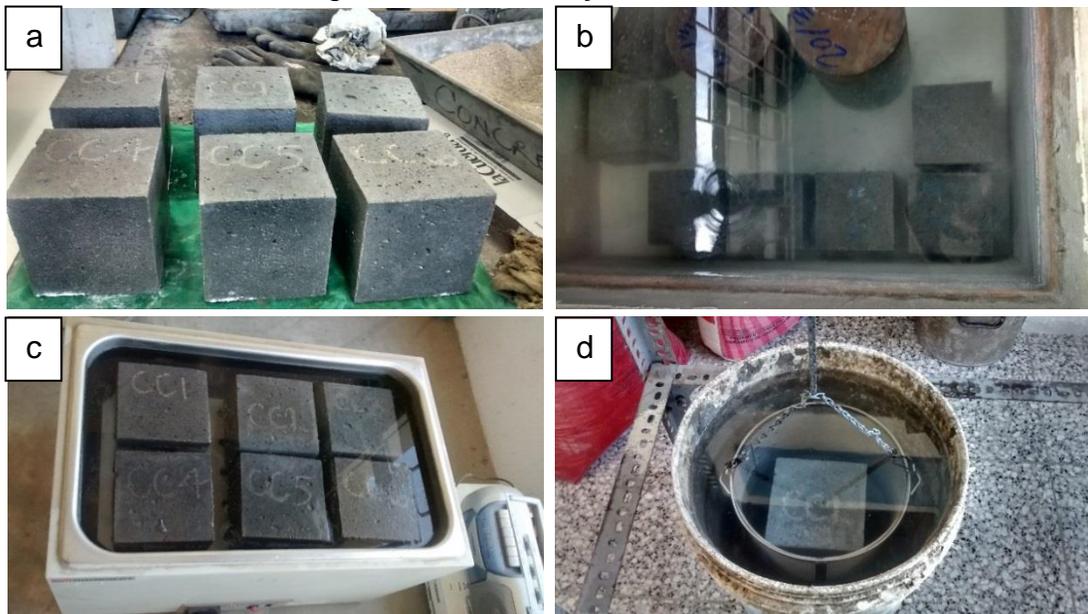
Fuente: elaboración propia.

2.4.2.2. Densidad, absorción de agua y vacíos en el concreto endurecido NTG 41017 h21

Para la realización de este ensayo se hicieron cubos de 12 cm de lado, el único requisito que exige la norma es que el volumen sea mayor a 350 cm^3 y que cada sección esté libre de agrietamientos, fisuras o esquinas dañadas. Los especímenes fueron pesados y etiquetados según la mezcla, el normativo no limita edad de ensayo, para fines prácticos el ensayo se realizó 28 días después del mezclado. El ensayo consiste en obtener los pesos del espécimen en los siguientes estados (ver figura 27).

- a. Peso del espécimen seco al horno
- b. Peso saturado después de inmersión en agua
- c. Peso saturado después de ebullición en agua
- d. Peso sumergido aparente

Figura 27. Ensayo NTG 41017 h21



Fuente: elaboración propia.

2.5. Fabricación y evaluación de bloques

Uno de los objetivos principales en este trabajo fue la fabricación de bloques con mezclas de concreto celular de espuma preformada, basados en la manufactura de bloques de concreto, la cuales tradicionalmente son elementos huecos modulares, premoldeados y diseñados para la albañilería confinada y armada. La maquinaria para su fabricación es automatizada, ocupando un gran espacio y un elevado costo de inversión para su funcionamiento (ver figura 28). Otro tipo de maquinaria utilizada son las vibrocompactadoras manuales, las cuales utilizan para su fabricación una mezcla de arena pómez, material selecto, cemento y agua, siendo este producto el de mayor demanda por su costo y su fácil producción.

Figura 28. **Maquinaria utilizada para fabricación de bloques**



Fuente: Planta Kontic km 61.5 Carretera Interamericana, Zaragoza Chimaltenango, Grupo FFAC, S.A.

El mayor inconveniente de las vibrocompactadoras manuales es el uso de agregado grueso en la mezcla, ya que este genera un mayor desgaste, elevando los costos y no pudiendo competir con las fábricas automatizadas, por

ello la producción se limita a los bloques tipo C, según clasificación NTG 41054, inclusive la mayoría de las empresas no certifica su producto y aun lo produce a base de su conocimiento empírico.

2.5.1. Colocación y curado de los especímenes

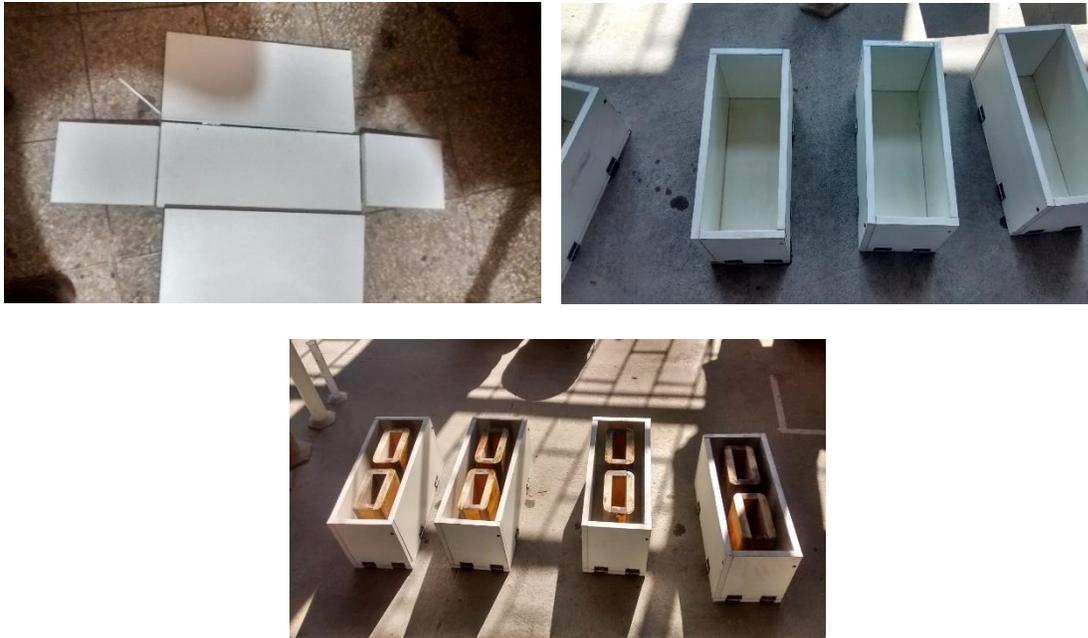
Con el propósito de estudiar el comportamiento de la dosificación M_B,7030, y determinar sus ventajas y desventajas en la fabricación de bloques, se llevó a cabo la fabricación de bloques huecos y llenos de 14x19x39 cm en moldes desencoformables de melamina, por ser un material poco absorbente, teniendo similitudes en este aspecto con los moldes tradicionales metálicos y llenándolos con la dosificación de la mezcla, tratando de que el proceso de llenado sea el mismo utilizado en los ensayos de los cilindros a compresión.

Antes de colocar la mezcla se aplicó un desencoformante en las paredes de los moldes, con el fin de facilitar el desmoldado. Durante el colado de los bloques se comprobó que, debido a la alta fluidez del concreto celular de espuma preformada, es fácil acarrearlo y verterlo dentro del molde a pesar de tener un ancho de 3 cm en los bloques huecos, así que resultó de manera satisfactoria el llenado (ver figura 29).

Después de 24 horas se procedió con el desmolde de los bloques, para ello se retiraron todos los tornillos que unen las paredes de melamina y sirven para retirar sin forzar y/o producir alguna grietas en las equinas, la parte de las cámaras que dan forma a los huecos en el bloque fueron hechas de madera con recubrimiento de melamina, este se retiró cortándolo en la parte indicada. Cabe detallar que en este proceso sí se provocó golpes en los huecos sin llegar

a agrietarlos, por el cuidado que se tuvo, siendo una parte tediosa en el experimento.

Figura 29. **Moldes experimentales**



Fuente: elaboración propia.

Finalizado el desmolde de las unidades de mampostería, se colocaron en bolsas herméticas para llevar a cabo el curado en ambiente húmedo hasta la fecha del ensayo a compresión.

2.5.2. Resistencia a la compresión de bloques NTG 41055 h1

Pasados 28 días se llevó a cabo la obtención de la resistencia a compresión de los bloques de concreto celular, para ello se destinaron a ensayar 3 bloques huecos y 3 bloques llenos para su comparación, los bloques luego del curado se encontraban en estado saturado de superficie seca. En bloques para el ensayo a compresión es recomendable utilizar unidades secas,

y para no introducir una variable más al experimento se ensayan en el estado encontrado luego del curado.

El ensayo consiste en obtener su peso y el promedio de ancho, alto y largo, y colocar el espécimen en la máquina de ensayo, en tal forma que el centroide de sus superficies de carga quede alineado verticalmente con el centro de aplicación de la presión del soporte de la máquina de ensayo, para luego aplicarle carga a una velocidad conveniente, hasta alcanzar la mitad de la carga que se espera, después del cual se ajustan los controles para un avance a velocidad uniforme, hasta la rotura (ver figura 30).

Figura 30. **Ensayo a compresión de bloques**



Fuente: elaboración propia.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Mezclas preliminares

Las dosificaciones de la tabla XVIII se llevaron a cabo partiendo de los ejemplos mostrados en el reporte ACI 523.3R-14, se realizaron 5 dosificaciones utilizando solamente arena pómez como agregado, se fijó una relación agua/cemento de 0,46 para todas las mezclas, para ir variando el consumo de cemento y visualizar el comportamiento de la espuma requerida.

El mayor inconveniente encontrado fue que “no existe un porcentaje de absorción fijo de la arena pómez”, esto para usarlo en correcciones de mezcla, a pesar de que se utilizó el “agua de absorción” para tratar de mantener el estado saturado de superficie seca y evitar la absorción inmediata de agua ya en contacto con el cemento. Esto ocurrió, la arena absorbió parte del cemento volviéndose una mezcla seca poco cohesiva, factor que influye al añadir la espuma, la cual perdió consistencia conforme se mezclaba, ya que es necesario que la mezcla sea fluida para que la espuma tenga la finalidad esperada: reducir el peso volumétrico en estado húmedo y seco.

A pesar del inconveniente presentado en las dosificaciones se continuó el experimento, y a las dosificaciones se realizaron las siguientes pruebas: peso unitario, resistencia a compresión y densidad seca, valores que se presentan en la tabla XVIII. Del valor de resistencia a compresión se sabía únicamente que se encontraría debajo de los 130 kg/cm² (1845 psi), verificando resultados de mezclas de concreto liviano, usando arena pómez, con el valor de consumo de cemento mayor (9 sacos de cemento, 382,5 kg/m³). Para esto sirvió como

base la tesis: *Mezclas de concreto liviano con piedra pómez*, de Bernardo Morales.

Se llenaron especímenes de 15cmx30cm para evaluar su resistencia a compresión, se hace notar que, a pesar de no presentar la fluidez esperada, para el llenado de los especímenes no fue necesario apisonarlo con la varilla de acero No.5 (5/8 pulg.), como se acostumbra con el concreto normal, pues la varilla dejaba un agujero al sacarlo después de apisonar, por ello se optó por utilizar un mazo de hule y hacer vibrar las paredes de los moldes con 15 golpes en cada capa colocada.

Tabla XVIII. **Resultados de mezclas preliminares**

Identificación de mezcla	Peso unitario (kg/m ³)		Resistencia a compresión a los 28 días		Densidad seca (kg/m ³)	
	Teórico	Real	(kg/cm ²)	(lb/pulg ² ;psi)	Teórico	Real
Mezcla A	1552	1565	36.32	516.67	1387	1390
Mezcla B	1380	1500	39.83	566.67	1233	1358
Mezcla C	1207	1300	12.42	176.67	1079	1170
Mezcla D	1035	1245	17.57	250.00	925	1135
Mezcla E	862	1140	2.81	40.00	771	1046

Fuente: elaboración propia.

Las dosificaciones A, B y C presentaron una buena trabajabilidad y cohesión, las mezclas D y E no tenían cohesión necesaria para considerarse una mezcla uniforme, pero a pesar de no ser fluidas son mezclas moldeables. Los pesos unitarios fueron mayores que los valores de diseño, ya que la espuma no cumplió la finalidad de reducir este valor, porque no se formó como

debiera, pues a simple vista las burbujas de aire no se distinguían, rompiéndose con facilidad al pasar el tiempo de mezclado.

Se observa en la tabla XVIII una variación de gran valor de resistencia a compresión respecto a las mezclas A y B, con las otras se piensa que el agregado absorbió una mayor cantidad cementante, por tener valores de consumo de agua menor, repercutiendo en la resistencia a compresión. Para la segunda etapa de investigación se eligió la dosificación “B” por presentar un valor de resistencia a compresión mayor que las otras mezclas, a pesar de que su valor de densidad seca sea mayor que la de diseño (1234 kg/m^3), teniendo un menor consumo de cemento respecto a la dosificación “A” en valor de 42,5 kg de cemento por m^3 .

3.2. Concreto fresco

La segunda etapa del experimento fue evaluar la dosificación tipo “B”, estableciendo una relación de agua/cemento 0,65, un factor consumo de cemento de 340 kg (8 sacos) por m^3 de mezcla, e introduciendo agregado grueso a las dosificaciones. La nomenclatura utilizada representa la siguiente descripción: " $M_B\%f, \%g$ "; M_B (dosificación preliminar)-% fino,% grueso; la mezcla M_B7030B es la utilizada para fabricación de bloques.

¿Por qué se introdujo agregado grueso a la mezcla? Analizando los resultados de las mezclas preliminares, se concluye que la mala formación de las burbujas en la mezcla solamente reduciría la densidad de esta en estado seco, no aumentaría la resistencia esperada, con el factor consumo de cemento usado. Otra hipótesis que se tenía al utilizar agregado grueso es tratar de reducir la contracción plástica que se tendrá por exudación de agua en las dosificaciones, sabiendo la propiedad de absorción y retención de agua de la

arena pómez, por lo cual se intuye que existirá fisuración por retención plástica, ya que el valor de exudación se dará en menor tiempo que en el concreto normal, y el agregado grueso modifica la gradación de partículas de la mezcla.

Las dosificaciones preliminares no presentaban el estado fluido en su trabajabilidad, para lograr este estado la demanda de agua oscilaría en una relación agua/cemento de 0,70, o superiores, se fija la relación agua/cemento en 0,65 y se decide utilizar un aditivo reductor de agua, reduciendo este valor en un 30 % y estableciendo una relación final de agua/cemento de 0,46. La tabla XIX presenta los resultados de las dosificaciones del concreto en estado fresco.

Tabla XIX. **Ensayos al concreto fresco**

Identificación de mezcla	Flujo de asentamiento (Fluidez; cm) ASTM C-1611	Temperatura (°C) ASTM C-1064	Peso unitario (kg/m ³) ASTM C-138			Contenido de aire (%) ASTM C-231
			Practico	Teórico	Dif. (%)	
M_B-80,20	38.10	20.0	1390	1470	-5.44	40.0
M_B-75,25	43.10	23.4	1480	1493	-0.87	35.0
M_B-70,30	40.50	23.9	1540	1515	+1.65	30.0
M_B-70,30B	41.00	22.7	1490	1515	-0.33	30.0

Fuente: elaboración propia.

- Trabajabilidad – Fluidez y consistencia

Entre las características del concreto celular en estado fresco la trabajabilidad, consistencia y plasticidad han sido las más preciadas, al ser el concreto celular un concreto fluido al ser mezclado, manipulado, transportado y

colocado. Este no debe perder su homogeneidad sin sufrir segregación, visualmente no se presentaba segregación ninguna en las dosificaciones realizadas en todo el proceso de mezclado y colocación.

La plasticidad se determinó más que todo visualmente, la prueba de flujo se utilizó nada más para tener un control de agua. El concreto celular es fluido, teniendo la cohesión en sus partículas al tener este estado la estabilidad de la mezcla fue observada de la misma forma usando los índices visuales de estabilidad (USI). Estos valores no cuantifican una propiedad del concreto, la mezcla no evidenciaba segregación pero se observa un brillo en la superficie de la masada, clasificándola según USI=1 (estable).

Para determinar el flujo del asentamiento el método utilizado sirve para monitorear la consistencia del concreto recién moldeado, no endurecido y autoconsolidante y de su potencial de flujo no confinado. El flujo de asentamiento no presentó ninguna variable según la normativa NTG 41017 h22 (ASTM C 1611), la tabla XIX presenta el valor de los resultados promedios, valores cercanos, ya que en cada dosificación se usó la misma relación agua/cemento. El aditivo reductor de agua cumple con satisfacción su función de tener un concreto fluido con una demanda de agua mínima, además de ser muy estable, ya que el flujo de mezcla descrita tiene una variable en el valor máximo y mínimo en un 11 % en las masadas realizadas.

- Temperatura

Los ensayos de temperatura se realizaron en las siguientes condiciones ambientales: temperatura ambiente 23.5 °C y una humedad relativa de 0,62. No existe cambio de temperatura presentado por la adición de la espuma

preformada y el aditivo reductor de agua no evidenció reacción exotérmica en las masadas; la temperatura disminuye con el aumento de aire en las mezclas.

El cambio de temperatura es más influyente por el cemento, no así en concretos celulares formados a base de gas, con el cual se debe tener un cuidado especial en el aumento de la temperatura por la reacción química que se da. La tabla XIX muestra valores de temperaturas similares a los concretos convencionales, variando únicamente en la mezcla M_B8020, que evidencia mayor contenido de aire y menor valor de temperatura.

- **Peso unitario**

El ensayo de peso unitario (densidad aparente), utilizado para conocer la densidad en estado fresco de la masada realizada, es un valor representativo comparativo con valores de diseño. Si existe un alto porcentaje de variabilidad es factor para desechar la masada y/o realizar correcciones en la mezcla, ya que este valor influye directamente en el rendimiento de la mezcla, el mismo ensayo debe realizarse con sumo cuidado, ya que con un mal proceso de compactación del material se tendrán variaciones significativas.

La mezcla M_B-8020 presenta el máximo porcentaje de variación de 5,44 % (80 kg/m^3) respecto al diseño teórico, estando por arriba del límite de variación de $29,6 \text{ kg/m}^3$, realizado por un solo operador. Las otras mezclas se encuentran debajo de este valor de precisión. Se considera que en el concreto celular, por ser fluido, los valores serán más cercanos a los de diseño por ser autocompactable y no necesitar manipulación al momento de colocación al realizar el ensayo, siempre y cuando las propiedades de los materiales sean conocidas. En las masadas realizadas no se llevó a cabo ninguna corrección de agua para tratar de no tener influencia en este valor comparativo.

- Contenido de aire

El concreto celular posee por naturaleza cantidades fuertes de aire, no solo por la contextura especial de la espuma preformada, sino también por el agregado pómez que se usó en el experimento. Al realizar el ensayo por el sistema de presión, fue imposible establecer estos datos con exactitud por la capacidad limitada de sus medidores, por ello se recomienda realizar un estudio formal sobre la forma de obtener un valor de contenido de aire para las mezclas realizadas, para estimar con mayor exactitud su densidad en estado seco. Este estudio debe incluir el aporte de aire de la espuma en función a la densidad obtenida al momento de elaboración de la misma.

3.2.1. Porcentaje de exudación

La tabla XX y la figura 31 muestran el proceso de exudación del concreto celular para las diferentes mezclas con variación de agregados utilizados, notándose que la exudación varía entre 0,23 % a los 20 minutos y un 4,53 % a los 180 minutos, comparado los valores de exudación del concreto normal que varía de un 3 % a 20 min y 9 % a 180 min. Se nota que la exudación es baja si se considera que para el diseño de mezclas se usó una relación de agua/cemento de 0,65, el porcentaje de exudación tiene una relación directa con el uso del reductor de agua de alto rango que cumple con eficiencia su aplicación.

En el concreto celular, por el uso de arena pómez como agregado, los efectos de sedimentación son reducidos, por el poco peso de las partículas del agregado dominante, además gran parte del agua es retenida por el efecto de la espuma preformada. La exudación produjo dos efectos desfavorables: acarreó partículas de cemento en la parte superior de los especímenes,

disminuyendo la riqueza de la mezcla, y al salir el agua formó canales que aumentan la porosidad del concreto, la nata formada por las partículas de cemento da un aspecto polvoroso que a simple vista crea una pastilla de adherencia débil y peligrosa, porque no tiene homogeneidad con el resto de la mezcla.

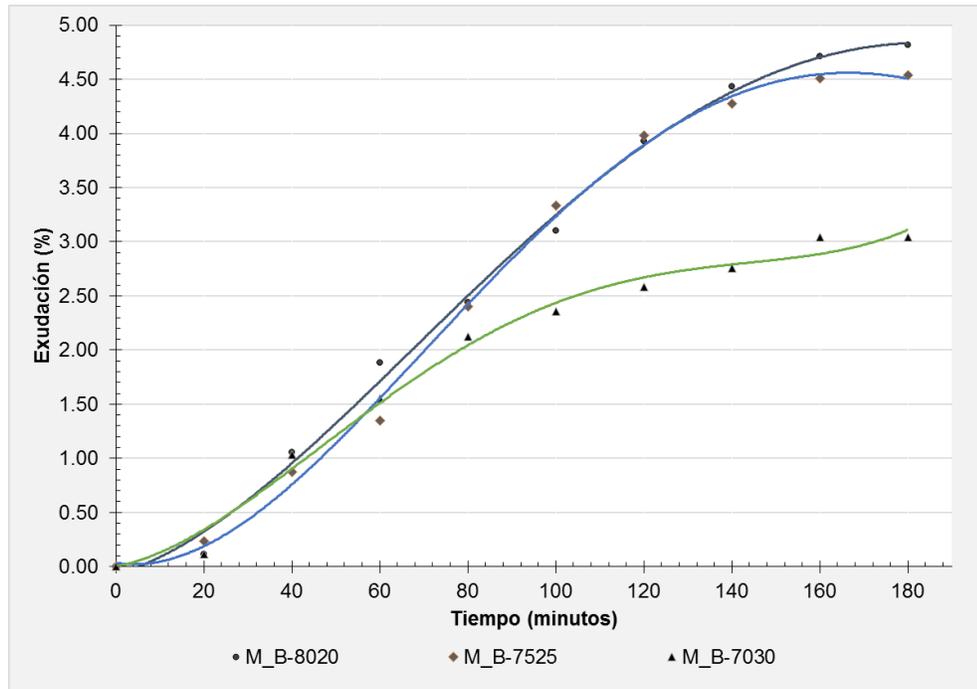
Si la evaporación del agua de la superficie es más rápida que el índice de exudación, puede producirse un agrietamiento por contracción de fraguado plástico. Aunque no se tuvo este inconveniente en las mezclas, es de tomar en cuenta en el uso en un ambiente de humedad no controlada, ya que el porcentaje de exudación es bajo.

Tabla XX. **Porcentaje de exudación de agua**

Tiempo acumulado (min)	% Exudación de mezclas		
	M_B-8020	M_B-7525	M_B-7030
0	0.00	0.00	0.00
20	0.23	0.11	0.11
40	0.88	1.05	1.03
60	1.35	1.88	1.55
80	2.40	2.44	2.13
100	3.34	3.10	2.36
120	3.98	3.93	2.58
140	4.27	4.43	2.76
160	4.51	4.71	3.04
180	4.53	4.82	3.04

Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Porcentaje de exudación vrs Tiempo**



Fuente: elaboración propia.

3.2.2. **Tiempo de fraguado**

Los ensayos de velocidad de endurecimiento inicial se realizaron en las condiciones ambientales siguientes: temperatura inicial de 26.6-22.4°C y temperatura final de 23.5-23.1°C, y humedad relativa 0,62 y 0,72; se evitó corrientes de aire. En el ensayo influyen, además de las condiciones ambientales, la calidad y proporción de los materiales utilizados, la cantidad de espuma utilizada y se considera que el aditivo reductor de agua tiene influencia directa, por utilizarlo para encontrar el estado autoconsolidante, como lo indica el ACI: “cuando se usan los aditivos químicos en dosis grandes tienen tendencias a inducir fuertes efectos colaterales como retardo excesivo y posiblemente un incremento del aire incluido”.

El ensayo tiene por de pronto un valor comparativo entre las mezclas, al tener estudios más completos, se podrá fijar los límites para remezclado o manual o revibrado de la mezcla sin que el concreto pierda su calidad. En los resultados se aprecia un endurecimiento inicial distinto para ambas mezclas, también se aprecia que a mayor velocidad de exudación corresponde mayor velocidad de endurecimiento, lo cual concuerda con los datos obtenidos.

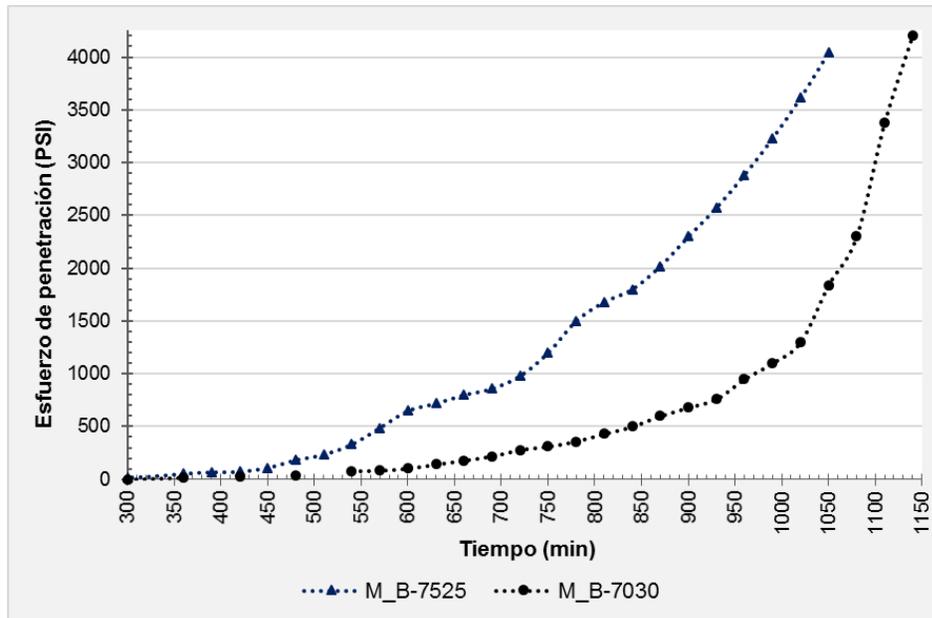
La tabla XXI y la figura 32 muestran los tiempos de duración de fraguado, observándose que en los valores de entre los dos ensayos realizados existe una discrepancia muy alta y no se puede establecer tendencia para realizar un comparativo entre ellos. De la misma forma, los valores comparativos investigados establecen que las mezclas analizadas se encuentran en un alto valor respecto del tiempo de endurecimiento final, por ello es necesario realizar mezclas con una relación de agua mayores a 0,65 sin uso de aditivo reductor de agua, y observar el comportamiento que se presente.

Tabla XXI. **Tiempo de fraguado**

Identificación	Tiempo de fraguado inicial	Tiempo de fraguado final	Duración de fraguado
M_B-8020	-	-	-
M_B-7525	9 horas 35 minutos	17 horas 28 minutos	7 horas 53 minutos
M_B-7030	14 horas 0 minutos	18 horas 52 minutos	4 horas 52 minutos
Concreto liviano de arena pómez	-	9 horas	-
Concreto celular gaseado a base de aluminio	-	6 horas	-

Fuente: elaboración propia, con base en MORALES, Bernardo. *Mezclas de concreto liviano de piedra pómez*, 1962. 25-A p. y JIMÉNEZ. *Concreto aireado en autoclave*. 2014. Universidad Politécnica de Cataluña. 42 p.

Figura 32. **Esfuerzo de penetración vrs Tiempo**



Fuente: elaboración propia.

3.3. **Concreto endurecido**

Debido a la hidratación del material cementante, el concreto adquiere resistencia, la cual es una propiedad para medir su durabilidad, además de las resistencias a propiedades como impermeabilidad, acústica, etc, dando origen a la naturaleza del material. El concreto va adoptando sus propiedades en el transcurso del tiempo, produciéndose en los primeros días cambios más notables.

A las mezclas de concreto celular analizadas se les realizaron los siguientes ensayos en estado endurecido: resistencia a compresión, densidad, porcentaje de absorción de agua y porcentaje de vacíos, con el fin de utilizar la que tenga mejores características en la fabricación de unidades de mampostería. Los resultados de los ensayos efectuados se muestran a continuación.

- Resistencia a la compresión

En los ensayos de resistencia a compresión, el proporcionamiento de mezcla juega un papel importante para lograr los máximos esfuerzos, por ello este ensayo es utilizado para aceptar o no el material según sea el valor esperado. En este estudio el análisis de evaluación de resistencia esperada se realizó con la finalidad de encontrar el proporcionamiento de mezcla más adecuado para fabricar y evaluar bloques huecos de clase "C" (56 kg/cm², sobre área neta), según clasificación NTG 41054, para uso no estructural con alta absorción de humedad.

La edad de los ensayos adoptados fue de 3, 7,28 y 56 días, los resultados se muestran en la tabla XXII y figura 33. Un valor a tomar en cuenta es la densidad en el estado que se ensayan los especímenes, muchas veces el material es seleccionado más por su densidad que por su resistencia. Por ello es que se realizó el ensayo de densidad para los especímenes ensayados a compresión y se puede observar que el aumento del esfuerzo a compresión es directamente proporcional al aumento de densidad.

La mezcla patrón (tipo B) alcanza una resistencia a compresión de 39,83 kg/cm² a los 28 días, comparando este resultado con la mezcla M_B-8020, este tiene una desviación menor en un -20,41 %, la mezcla M_B-7525 una desviación de +6,25 %, finalmente, con la mezcla M_B-7030 hay una desviación de +30,45 %, que es un porcentaje de gran variación con respecto a la mezcla patrón. Se observa que con el uso de agregado grueso normal, en un 20 a 25 % la mezcla no modifica en un alto rango su resistencia a compresión, pero usando valores arriba de un 30 % en agregado grueso sí se aumenta este valor.

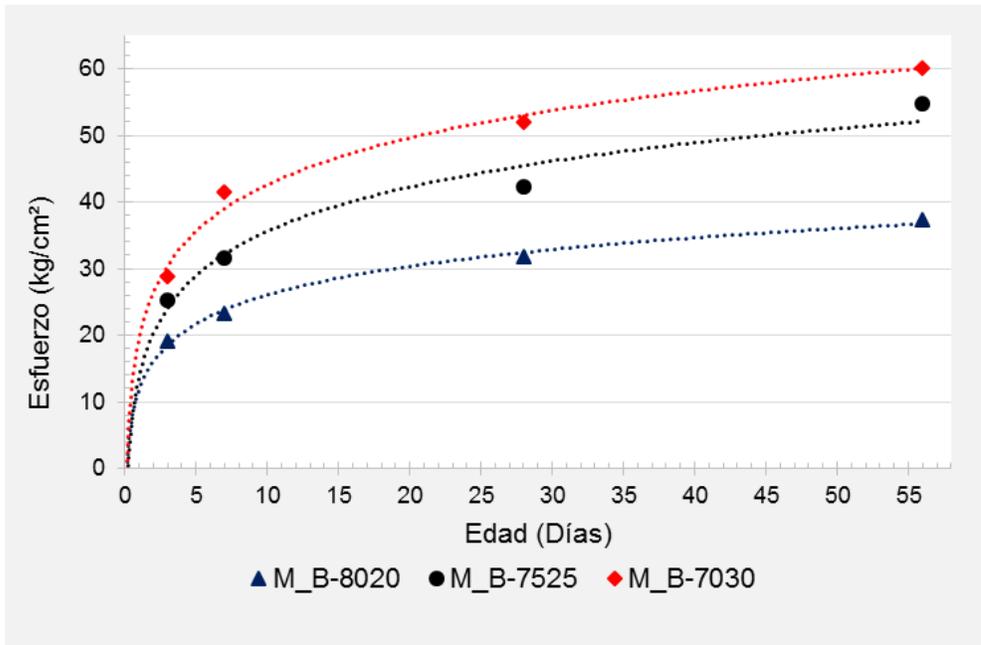
En los datos se puede observar la variación de resistencia de las mezclas respecto a los 28 días. Comparando los resultados a los 56 días se tiene un aumento de 15,31 %, 22,65 % y 13,63 %, para cada una de las mezclas, es un aumento mayor al 10 % que se debe tomar en consideración. Este aumento tuvo influencia directa por el tipo de curado hermético que se realizó, por otra parte, se considera que el uso de arena pómez en la mezcla tiene influencia directa en esta característica, por ser un material absorbente y retenedor de agua que pudo dar origen a un curado prolongado en los materiales constituyentes, aumentando la resistencia a compresión.

Tabla XXII. **Esfuerzos a compresión**

Edad	M_B-8020			M_B-7525			M_B-7030		
	Densidad (kg/m ³)	<i>f'</i> c (kg/cm ²)	Prom.	Densidad (kg/m ³)	<i>f'</i> c (kg/cm ²)	Prom.	Densidad (kg/m ³)	<i>f'</i> c (kg/cm ²)	Prom.
3	1241.11	17.19	19.14	1332.91	22.09	25.28	1413.85	28.64	28.91
3	1206.27	21.09		1324.58	28.47		1410.48	29.18	
7	1238.39	21.45	23.30	1370.03	31.32	31.58	1396.74	39.60	41.50
7	1236.99	25.14		1333.20	31.84		1390.05	43.41	
28	1248.78	31.75	31.72	1336.25	42.69	42.32	1387.28	49.79	51.96
28	1238.90	31.70		1324.07	41.94		1379.85	54.14	
56	1234.58	37.43	37.43	1345.62	54.71	54.71	1346.59	60.16	60.16

Fuente: elaboración propia.

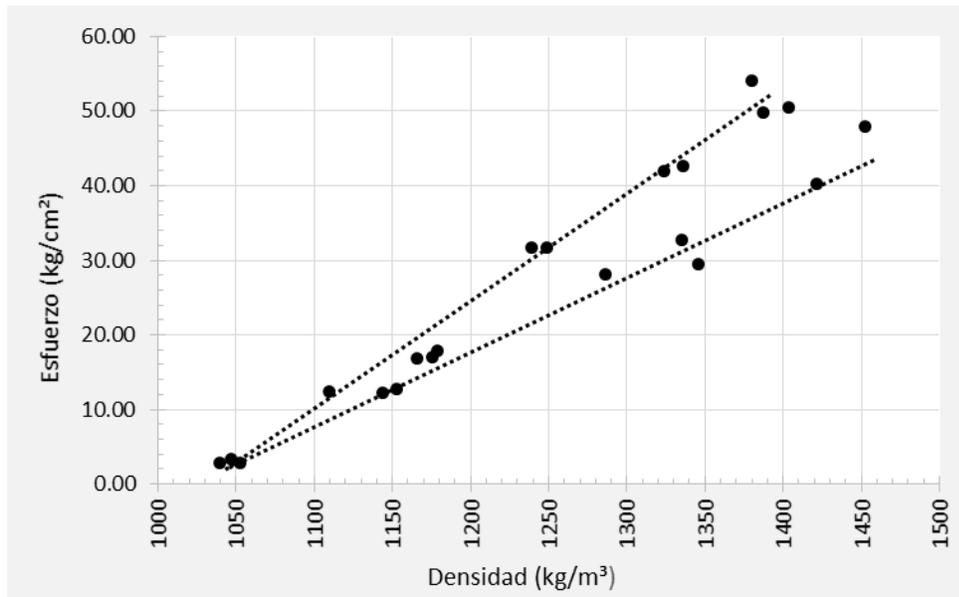
Figura 33. Esfuerzo a la compresión vrs Tiempo



Fuente: elaboración propia.

Partiendo desde las mezclas preliminares (tipo A, B, C, D y E) y las mezclas analizadas M_B-8020, 7525, 7030, además, conociendo la resistencia a compresión a una edad específica (28 días) y considerando la densidad en estado saturado de superficie seca (por el tipo de curado realizado), se puede realizar una gráfica del espacio muestral analizado en el experimento y su comportamiento en cuanto a su resistencia a compresión, en función a la densidad, la cual se muestra en la figura 34, demostrando así el aumento de la resistencia a compresión cuando se aumenta la densidad de la mezcla, además de comprender mejor aún los puntos experimentales, con lo cual se puede observar un límite superior e inferior en los datos analizados usando una función lineal.

Figura 34. Resistencia a la compresión (28 días) vrs Densidad



Fuente: elaboración propia.

- Densidad, absorción de agua y los vacíos en el concreto endurecido

Los valores de densidad y absorción de agua son fundamentales al utilizar el concreto celular para uso no estructural, principalmente en el mercado de prefabricados. Este ensayo es de relevancia para determinar el cumplimiento de las especificaciones de NTG 41054 (especificaciones para bloques huecos de concreto) en cuanto a su absorción de agua, además de comprobar si existe una variación de masas en las diferentes muestras utilizadas. Los resultados de los ensayos se muestran en la tabla XXIII.

Las mezclas analizadas corresponden a M_B-7525 y M_B-7030. Los valores de porcentaje de absorción tienen un valor promedio de 22,95 % y 22,79 %. La norma NTG41054 indica que debe existir un máximo de 22 % de

absorción de agua en datos de bloques individuales; los resultados sobrepasan este límite. A pesar de que el porcentaje de absorción es alto, existen datos sobre el porcentaje de absorción arriba de un 30 % (ASTM C1386-98 Precast Autoclaved Aerated Concrete (PAAC) Wall).

El método de ensayo no involucra la determinación de una densidad absoluta. Por lo tanto, el espacio de poros que pueda estar presente en la masa y que no es vaciado durante el secado o no es llenado con agua durante la inmersión y ebullición especificada, o ambas, se considera impermeable y se incluye principalmente al momento del cálculo de porcentaje de vacíos. Las mezclas indican un valor promedio de 22,6 % para la mezcla M_B-7525 y un 24,03 % para la mezcla M_B-7030 respecto al porcentaje de vacíos, valores que dan lugar únicamente al espacio de la espuma preformada con 22,5 % en el diseño de mezcla. Se considera que un alto porcentaje de los agregados tienen contacto con el gel cementante, induciendo impermeabilidad y reduciendo el volumen de vacíos.

En cuanto a la densidad seca, la mezcla M_B 7525 presenta una densidad de 1293 kg/m³ mientras que la de diseño es de 1340 kg/m³ y la mezcla M_B 7525, así se obtuvo una densidad de 1321 kg/m³ comparándola con el valor teórico de diseño de 1364 kg/m³, presentándose en ambos una varianza aproximada de 40 kg/m³, la cual se le atribuye al estado de humedad de la arena al momento de realizar las mezclas.

En los ensayos realizados se observa una variación máxima entre muestras usadas de 1,92 % y 1,60 %, es decir las mezclas eran homogéneas y sus materiales se distribuyeron de la mejor forma al tener una variación mínima entre densidades secas al horno.

Tabla XXIII. Resultados de ensayo NTG 41055 h19

Identificación de muestra		Absorción después de inmersión, %	Absorción después de inmersión y ebullición, %	Densidad seca global (ó bruta), g/cm ³	Densidad global (ó bruta) después de inmersión, , g/cm ³	Densidad Global (bruta) después de inmersión y ebullición, g/cm ³	Densidad aparente, g/cm ³	Volumen de vacíos, %
M_B-7525	CC2	21.41	17.88	1.279	1.443	1.401	1.465	21.26
	CC4	24.37	19.60	1.297	1.501	1.443	1.531	23.65
	CC6	23.08	18.86	1.304	1.494	1.443	1.523	22.89
M_B-7030	CC1	23.20	19.07	1.322	1.495	1.456	1.510	23.31
	CC3	23.51	20.93	1.331	1.495	1.463	1.581	25.33
	CC5	21.66	19.40	1.310	1.472	1.444	1.574	23.46

Fuente: elaboración propia.

3.4. Evaluación de bloques: resistencia a compresión y porcentaje de absorción

La mezcla seleccionada para la fabricación de bloques de concreto celular fue la mezcla M_B-7030, por sus valores de resistencia y su densidad seca mostrada con anterioridad. La distribución de la espuma se encontraba en la totalidad de la masa, de la misma forma el agregado grueso, teniendo una apariencia uniforme. La variación se dio en la parte superior con la formación de una nata de cemento debido al proceso de exudación.

Para la aceptación de bloques es necesario que cumplan con una tolerancia en sus medidas geométricas, en este caso se fabricaron los moldes, para lo cual no se encontró una variación considerable al comparar las unidades individualmente. La resistencia a compresión da lugar a la influencia de la calidad del agregado y se nota claramente cuándo se introdujo porcentajes de agregado basáltico en las mezclas o cuándo se produjo un concreto más resistente, lo que se esperaba conociendo la dureza del material.

La resistencia a compresión de bloques huecos (h) y llenos (Ll), cuyos resultados son mostrados en la tabla XXIV, indican esfuerzos a compresión bruta que tienen valores promedios de 24,29 kg/cm² para bloques huecos y 42,40 kg/cm² para bloques llenos. El esfuerzo a compresión neto tiene valores promedios de 44,20 kg/cm² para bloques huecos y 43,96 kg/cm² para bloques llenos, valores que se encuentran por debajo en un 20 % de los límites de la normativa NTG 41054, que indica la resistencia mínima a compresión sobre el área neta para bloques de clasificación clase C de 56 kg/cm². Es decir, solo se alcanzó en el experimento un valor del 80 % de esta resistencia, el cual, por el tipo de mercado de prefabricados, es aceptable, ya que se tienen referencias de esfuerzo a compresión bruta con valores por debajo de los 20 kg/cm² aparentando en el mercado que se encuentran en la clase C.

Los valores de porcentaje de absorción tienen un promedio de 18,28 % para bloques huecos y 20,98 % para bloques llenos, al comparar estos datos se nota la influencia de la masa, ya que en bloques huecos este valor es menor en un 2,7 %, respecto a los bloques llenos. Por otro lado, la variación no es significativa; estos dos datos se encuentran por debajo del límite establecido por la normativa COGUANOR NTG 41054, estableciendo un 22 % de absorción para clasificar el bloque en la clase C, teniendo esta especificación como aprobada.

Tabla XXIV. **Evaluación de bloques**

Identificación	Medidas promedio (cm)			Peso (kg)	Área promedio (cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo Bruto (kg/cm ²)	Esfuerzo Neto (kg/cm ²)	Peso Húmedo (kg)	Peso seco (kg)	% de ABS.
	Largo	Ancho	Altura								
h1	38.93	14.10	19.00	8.06	548.96	13607.91	24.79	45.64	1.32	1.07	18.94%
h2	39.00	14.07	19.00	8.03	548.60	12700.72	23.15	42.56	1.47	1.20	18.37%
h3	38.97	14.00	19.00	8.24	545.53	13607.91	24.94	44.42	1.44	1.19	17.53%
LI 1	38.97	14.00	19.00	14.26	545.53	22679.85	41.57	43.09	1.21	0.95	21.23%
LI 2	38.97	14.00	19.00	14.09	545.53	22226.25	40.74	42.69	3.57	2.82	20.92%
LI 3	38.97	14.00	19.00	14.32	545.53	24494.24	44.90	46.09	2.22	1.76	20.79%

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Se caracterizó el agregado liviano propuesto. La arena pómez utilizada no presenta partículas orgánicas, tiene una gradación granulométrica que cumple con la normativa NTG 41063, además una baja densidad, características provechosas para su utilización en la elaboración de mezclas de concreto celular, presentando dificultades al momento de establecer el peso específico en estado saturado y de superficie seca, así como el porcentaje de absorción en este estado. Con estos datos se estima controlar de mejor forma el agua neta en los diseños de mezclas. Las características tomadas para el aglomerante y la espuma fueron las proporcionadas por el fabricante.
2. La cantidad de agente concentrado espumante necesario para obtener una densidad dada de espuma se ve afectada por la velocidad de mezclado, además depende del tipo de mezclador utilizado, la cantidad de material mezclado, el período de mezcla y principalmente la marca del agente espumante. La espuma realizada se puede clasificar como de baja expansión volumétrica, siendo una mezcla densa con una cohesión moderada.
3. Con los materiales utilizados en el experimento, arena pómez, pedrín basáltico de medida nominal de 9,5 mm y espuma preformada, es posible obtener un concreto con una densidad de 1240 a 1370 kg/m³ y una resistencia máxima en cilindros normalizados de 60,16 kg/cm² a los 56 días de edad, teniendo la fluidez y caracterización física para considerarse un concreto ligero celular a base de espuma preformada.

4. Los ensayos de velocidad de endurecimiento inicial muestran limitaciones en el uso de cemento hidráulico tipo UGC, para la realización de mezclas de concreto celular por el incremento en el tiempo de fraguado, con el fin de conseguir el estado autoconsolidable, características favorables en su consistencia, ya que existirá un lapso mayor de tiempo en que la mezcla no pierda su trabajabilidad.
5. La utilización de concreto celular para la fabricación de bloques presenta las dificultades en la producción al momento de colocarlo en los moldes; estos deben de ser fabricados con material impermeable; es deseable lograr una disminución en el tiempo de fraguado, posiblemente con la utilización de un aditivo acelerante. Lo favorable es la facilidad de colocación del concreto, ya que no es necesario un proceso de vibrocompactación, pues el concreto se distribuye uniformemente llenando todos los espacios.
6. Con los materiales propuestos fue posible la fabricación de bloques. Las unidades de mampostería se encuentran un 17,85 % debajo del requerimiento de compresión de la normativa NTG 41054, para su aceptación y clasificación en la clase C; y el porcentaje de absorción se encontró debajo del límite establecido de un 22 %. La normativa ASTM C 1386-98 es más exigente en cuanto a la densidad más que a su resistencia a la compresión, en este caso se clasificaría como PAAC-4, con resistencia a compresión arriba de 50,98 kg/cm², no cumpliendo con los límites de densidad requeridos que varían de 750 a 850 kg/m³.
7. El concreto celular a base de espuma preformada es un tipo especial de material de construcción, usado para producir bloques o paneles, estos idealmente utilizados como muros no estructurales.

RECOMENDACIONES

1. Analizar el uso del aditivo fluidificante de alto rango, pues se considera que el aumento del tiempo de fraguado del concreto celular en parte es debido a ello, por ser utilizado para lograr el estado autoconsolidable, pudiendo tener efectos colaterales como un retardo excesivo.
2. Investigar la variación en la resistencia de los bloques a compresión según su contenido de humedad, pues se prevé que los niveles de resistencia disminuyan al aumentar la humedad contenida en los bloques.
3. Realizar un análisis respecto al tiempo de mezclado, observar la influencia de este a la conservación de la espuma preformada, y ver las variantes de peso volumétrico. Se intuye que pasado cierto tiempo de mezclado las burbujas de aire no tendrán consistencia para reducir el peso volumétrico a la mezcla.
4. Analizando los resultados de absorción que presenta el material, se considera que se debe tener un cuidado especial con el uso en la intemperie, ya que al absorber agua variarán sus dimensiones después de instalado. Es indispensable recubrir los bloques con un impermeabilizante y/o una membrana protectora, o realizar estudios en la utilización de un aditivo hidrófugo en su fabricación, y así observar el porcentaje de disminución de absorción.

5. De acuerdo con la bibliografía, el concreto celular ofrece características físicas y propiedades mecánicas, aparte de la resistencia a compresión y absorción de agua, como lo son: conductividad térmica, características acústicas, resistencia al fuego, etc., que deberían ser analizadas en su momento de acuerdo con la aplicación que se desee.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Concrete Institute. *Guía para concretos celulares arriba de 800 kg/m³*. EE. UU: Comité ACI 523.3, 2014. 3 p.
2. American Concrete Institute. *Práctica estándar para la selección de las proporciones para concreto estructural liviano*. EE. UU: Comité ACI 211.2, 1998. 2 p.
3. Archivos BFT-International. *Concrete plant and precast technology*. Revista No. 11. [en línea] <[www.bft-internacional/en/aktulle_ausgabe_en_29144.html](http://www.bft-internacional/en/aktuelle_ausgabe_en_29144.html)> [Consulta: 07 de agosto de 2016].
4. BARRIOS PADURA, A.; BARRIOS SEVILLA, J. *Normativa y materiales que conforman las fábricas*. España, 2011. 89-94 p. [en línea] <<http://www.vorsevi.es/descarga/publicaciones/libro%20Obras%20F%C3%A1brica.pdf>> [Consulta: 3 de mayo 2016].
5. Building Research Institute. *Foam and gas concretes, structural foams*. EE. UU: National Academy of Sciences National Research Council, publicación 892, Washington D.C. 1961. 5-30 p. [en línea] <<https://www.nap.edu/catalog/21381/structural-foamsproceedings>> [Consulta: 18 de julio de 2016].
6. CERVANTES ABARCA, A. *Congreso Nacional de Administración y tecnología para la arquitectura, ingeniería y diseño*. IMCYC

México: 2008. 143 p. [en línea]
<<https://documentslide.org/memorias-2008-congreso-nacional-de-administracion-y-tecnologia-para-la-arquitectura-ingenieria-y-diseno>> [Consulta: 05 de agosto de 2016].

7. EMILIO JIMÉNEZ, R. *Concreto aireado en autoclave: estado actual de la técnica y perspectivas de futuro*. Trabajo de graduación de Máster, Universidad Politécnica de Cataluña, España, 2014. 6-44 p. [en línea] <<http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/23710>> [Consulta: 05 de agosto de 2016].
8. GALLEGOS, H.; CASABONNE, C. *Albañilería estructural*. Tercera Edición, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2005. 75 p. [en línea] <<http://aportealaingcivil.blogspot.com/2016/05/albañileria-estructual-gallegos.html>> [Consulta: 3 de mayo de 2016].
9. HUMMEL, A. *Prontuario del hormigón*. Editores Técnicos Asociados, 12ª Edición. España: Barcelona 1966, 245 p. [en línea] <<http://camiba.info/40551-alfred-hummel-libro-a-descarga-onlinea.html>> [Consulta: 13 de abril de 2017].
10. KOSMATKA, Steven H.; et al. *Diseño y control de mezclas de concreto*. EE. UU: Portland Cement Association, 2004. 375 p.
11. LEGATSKI, L. M. *Cellular concrete roof decks: the roofing spec*. University of Michigan, EE. UU, 1952. 26 p. [en línea] <<http://docserver.nrca.net/technical/1093.pdf>> [Consulta: 28 de abril 2016].

12. LUZARDO J.; ARRAGA R. *Análisis del concreto celular y sus aplicaciones en la fabricación de paneles livianos*. Trabajo de graduación, Universidad Rafael Urdaneta, Venezuela, 2004, 28 p. [en línea] <<https://documentslide.org/tesis-de-concreto-liviano-venezuela-pdf>> [Consulta: 10 de agosto de 2016].
13. MORALES FIGUEROA, B. *Mezclas de concreto liviano de piedra pómez del valle de Guatemala*. Trabajo de graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1962. 10 p.
14. NARAYANAN, N.; RAMAMURTHY, K. *Structure and properties of aerated concrete: a review*. Departamento de Ingeniería Civil, Indian Institute of Technology Madras, India, 2000, 321-329 p. [en línea] <<https://asu.pure.elsevier.com/en/publications/structure-and-properties-of-aerated-concrete-a-review>> [Consulta: 17 de marzo de 2016].
15. NEVILLE, Adam; BROOKS, J. J. *Tecnología del concreto*. México: Trillas, 1998. 339 p.
16. RIVERA PÉREZ, E. *Uso de rellenos fluidos en la construcción*. Tesis de Graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008. 29 p.
17. RODAS MAZARIEGOS, A. *Concreto liviano de pómez: método de proporcionamiento y corrección de mezclas, y métodos para medir su trabajabilidad empleando agregado del valle de Guatemala*. Trabajo de graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1969. 9 p.

18. SCHNITZLER, STEFAN. *Autoclaved aerated concrete as a Green building material*. UC Davis extension, EE. UU, 2006. 2-6 p. [en línea] <https://extension.ucdavis.edu/sites/default/files/auto_aerated_concrete.pdf> [Consulta: 12 de agosto de 2016].
19. SCHOENSTEDT HEGEL, O. *Concreto celular*. Trabajo de graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1962. 15 p.
20. SEUNG LEE, H.; MOHAMED A. *Fundamental study on the development of structural lightweight concrete by using normal coarse aggregate and foaming agent*. Departamento de arquitectura e ingeniería de la Universidad Hanyang, Korea, 2014. 38 p. [en línea] <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28788691>> [Consulta: 22 de abril de 2016].
21. VIDELA C. C.; LÓPEZ C. M. *Dosificación de hormigones estructurales con áridos livianos*. Artículo de la Revista Bit No.86, Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile: 2000. 42-45 p. [en línea] <<http://www.registrocdt.cl/registrocdt/www/admin/uploads/docTec/2.pdf>> [Consulta: 05 de agosto de 2016].
22. VILLELA RODAS, C. *Tamizaje fotoquímico del fruto del árbol de la sapindus saponaria (jaboncillo), identificando las principales familias de metabolitos secundarios, en muestras provenientes de Cunén, Departamento de Quiché*. Trabajo de graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005. 46 p.
23. WISS, Janner; *Test on concrete containing specialized foam for stable air*. EE. UU: Northbrooks, Illinois 1997. 8-32 p. [en línea]

<<http://cellularconcretetechnologies.com/wp-content/uploads/2014/07/Wiss-Janney-Report.pdf>> [Consulta: 10 de agosto de 2016].

24. ZELADA FISCHER GROUP INC. [en línea] <www.concretocelular-ccs.com.py/aplicaciones.php> [Consulta: 07 de agosto de 2016].

APÉNDICES

El apéndice 1 muestra las fotografías sobre la textura obtenida en el concreto fresco. Al añadir espuma se observa la forma del espumógeno en ella, acercándose más a la mezcla visualmente se aprecia la distribución de burbujas, las cuales se mantienen en todo el lapso de manipulación, colocación y proceso de fraguado.

Apéndice 1. **Textura de la mezcla en estado fresco**

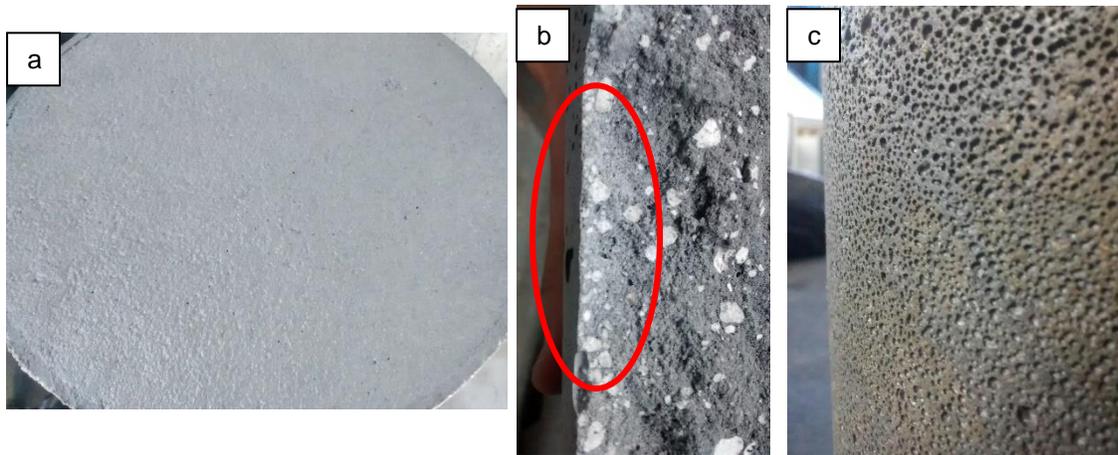


Fuente: elaboración propia.

La fotografía mostrada en el apéndice 2, figura (a), muestra la nata formada por el proceso de exudación acarreando partículas de cemento en la parte superior de los especímenes, de la misma forma el espesor de la pastilla formada ya ensayados los testigos. La figura (b) muestra un máximo espesor de 2 mm, en la figura (c) se observa el acabado obtenido por la incorporación de la

espuma preformada, que no se ve afectada en el proceso de exudación, pues la formación solamente se dio en la parte superior de los testigos.

Apéndice 2. Textura de cilindros ensayados a compresión



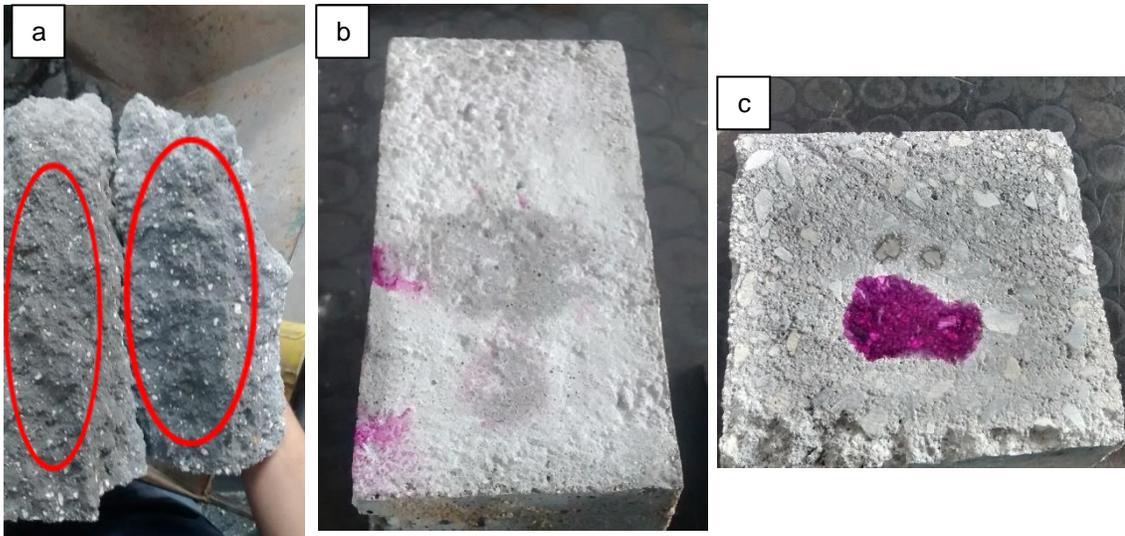
Fuente: elaboración propia.

Al ensayar los testigos a compresión, a los 56 días se observó la posibilidad de sufrir carbonatación por el aspecto que presentaba (ver apéndice 3. Figura (a)). Para comprobar si lo era, se recurrió a ensayar esta característica.

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

El pH de un buen concreto, no carbonatado y sin aditivos, es normalmente mayor que 12,5.

Apéndice 3. Ensayo de carbonatación



Fuente: elaboración propia.

La figura (b) del apéndice 3 muestra que existe carbonatación en la parte superior de los especímenes, específicamente sobre la nata de gel cementante formada por el proceso de exudación. La figura (c) del apéndice 3 muestra que en el interior de los especímenes no existe carbonatación, así se intuye que la parte que pareciera carbonato de calcio en la figura (a) es humedad, debido a la alta retención de agua de la arena pómez, es decir que a pesar de pasados 28 días de haber terminado el curado este aun presentaba porcentaje de humedad en su interior.

ANEXOS

Anexo 1. Informe del análisis completo del agregado fino



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



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

O.T. No. 36253
INFORME SACM - 517
HOJA 1/1

No. 08447

INTERESADO: Jimmy Alexander Yoc Chamalé, Carné: 201021127

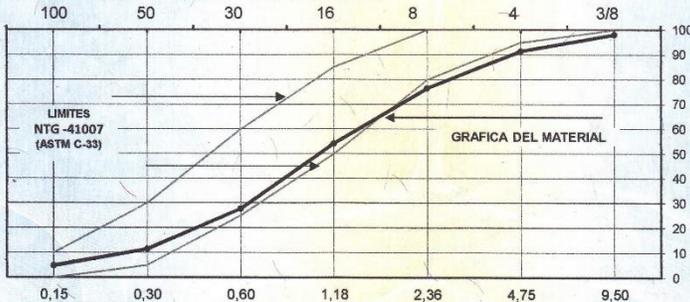
PROYECTO: Trabajo de graduación "FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO CELULAR DE ESPUMA PREFORMADA".

DIRECCIÓN: Ciudad

FECHA DE INFORME: 14 de noviembre de 2016

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

Densidad Relativa (sss)	1,60	Porcentaje de Absorción (%)	23,40
Densidad (sss) (kg/m ³)	1 600,00	Contenido de Materia Orgánica	1
Masa Unitaria, Compactada (kg/m ³)	800,00	Pasa Tamiz # 200 (%)	1,00
Masa Unitaria, Suelta (kg/m ³)	730,00	Retenido Tamiz 6,35 (%)	6,00
Porcentaje de Vacíos, Compactado (%)	50,00	Modulo de Finura	3,34
Porcentaje de Vacíos, Suelto (%)	54,00		



Tamiz No.	9,50	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,15
% Que pasa	98,00	91,40	76,50	54,00	27,70	11,40	4,80

OBSERVACIONES:

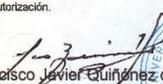
- Muestra proporcionada por el interesado.
- Tamiz # 200, procedimiento A, lavado con agua potable.
- Contenido de materia orgánica máximo permisible No. 3
- Se paso el tamiz 6,35 al material, para separar el agregado grueso del agregado fino.

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



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

ATENTAMENTE,

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: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 2. Informe del análisis completo del agregado grueso



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



ANÁLISIS COMPLETO DE AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO **No. 08448**
NORMA NTG 41007 h1 (ASTM C-33)
 INFORME SACM - 518
 HOJA 1/1

O.T. No. 36253

INTERESADO: Jimmy Alexander Yoc Chamalé

PROYECTO: Trabajo de graduación "FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO CELULAR DE ESPUMA PREFORMADA".

DIRECCIÓN: Ciudad.

FECHA DE INFORME: 14 de noviembre de 2016

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

Densidad Relativa (sss)	2,59	Pasa Tamiz # 200 (%)	0,40
Densidad (sss) (kg/m ³)	2 580,00	Porcentaje de Vacíos, Compactado (%)	42,00
Masa Unitaria, Compactada (kg/m ³)	1 500,00	Porcentaje de Vacíos, Suelto (%)	45,00
Masa Unitaria, Suelta (kg/m ³)	1 420,00	Modulo de Finura	6,00
Porcentaje de Absorción (%)	1,40	Pasa Tamiz 6,35 (%)	45,80

No.30	No.16	No.8	No.4	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"
-------	-------	------	------	------	------	------	----	--------	----	--------	----

Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16
% Que pasa	100,0	100,00	100,00	99,00	86,00	14,00	0,00	0,00

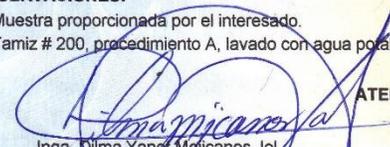
OBSERVACIONES:

a) Muestra proporcionada por el interesado.

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

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

ATENTAMENTE,

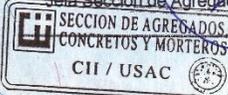


Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.



Ing. Francisco Javier 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: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 3. Informe de ensayos de mezclas preliminares



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



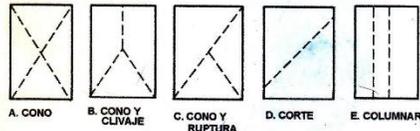
INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO No. **11114**
NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)
 INFORME SACM - 086
 HOJA 2/2

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE COLOCACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA ESTRUCTURA	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA MPa	RESISTENCIA lb/in ²	TIPO DE FRACTURA
D1	89-2	20/06/2016	18/07/2016	28	Concreto celular	2.500	11.105	22.148	3,600	1.70	250	E
D2	90-2	20/06/2016	18/07/2016	28	Concreto celular	2.495	11.055	22.115	3,600	1.70	250	E
D3	91-2	20/06/2016	18/07/2016	28	Concreto celular	2.535	11.103	22.207	3,800	1.70	250	E
E1	92-2	20/06/2016	18/07/2016	28	Concreto celular	2.230	11.555	22.073	600	0.30	40	---
E2	93-2	20/06/2016	18/07/2016	28	Concreto celular	2.245	11.140	22.157	600	0.30	40	---
E3	94-2	20/06/2016	18/07/2016	28	Concreto celular	2.225	11.005	22.340	700	0.30	40	---

OBSERVACIONES :

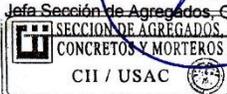
- Muestra proporcionada por el interesado.
- Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 lbs.
- Dial utilizado para lectura de cargas: 60 000 lbs.
- Cilindros cabeceados según norma ASTM C-617.
- El interesado proporcionó:
 - No. de cilindro en obra.
 - Fecha de colocación.
 - Edad de ensayo.
 - El representativo de estructura.
- Aditivo utilizado en la mezcla: Espuma preformada como incorporador de aire.
- Debido a la falta de cohesion en las particulas de mezcla "E" fue posible identificar el tipo de falla.

BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA

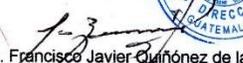


El presente informe representa únicamente la muestra identificada en el mismo. Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENTAMENTE,


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


Vo.Bo.


 Ing. Francisco Javier 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: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 4. Informe del diseño práctico de mezcla M_B 8020



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



INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO No. 11017
NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)

O.T. No. 36254

INFORME SACM - 07

HOJA 1/1

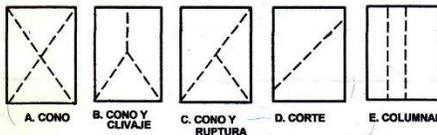
INTERESADO: Jimmy Alexander Yoc Chamalé - 201021127.
PROYECTO: Tesis " Fabricación y evaluación experimental de unidades de mampostería de concreto celular de espuma preformada ".
DIRECCIÓN: CII / FIUSAC.
EMISIÓN DE INFORME: 16 de enero de 2017

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICIÓN	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/pig ²	TIPO DE FRACTURA
3A1	06-1	20/09/2016	23/09/2016	3	Diseño de mezcla de concreto	6,770	15,115	30,400	6 800	1,70	250	B
3A2	07-1	20/09/2016	23/09/2016	3	Diseño de mezcla de concreto	6,665	15,165	30,590	8 400	2,10	300	B
7A3	08-1	20/09/2016	27/09/2016	7	Diseño de mezcla de concreto	6,700	15,038	30,463	8 400	2,10	300	B
7A4	09-1	20/09/2016	27/09/2016	7	Diseño de mezcla de concreto	6,720	15,080	30,417	9 900	2,50	360	E
28A5	10-1	20/09/2016	18/10/2016	28	Diseño de mezcla de concreto	6,790	15,080	30,443	12 500	3,10	450	C
28A6	11-1	20/09/2016	18/10/2016	28	Diseño de mezcla de concreto	6,760	15,090	30,510	12 500	3,10	450	B
56A7	12-1	20/09/2016	15/11/2016	56	Diseño de mezcla de concreto	6,750	15,060	30,693	14 700	3,70	540	B

OBSERVACIONES :

- Diseño de mezcla bajo condiciones de laboratorio.
- Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300,000 lbs. Dial utilizado para lectura de cargas: 300,000 lbs.
- Cilindros cabeceados según norma ASTM C-1231.
- Asentamiento de mezcla: 15 plg.
- Peso unitario: 1390 Kg/m³.
- Contenido de aire: 40,00 %.
- Temperatura: 20,0 °C.
- Proporción utilizada: 1 : 2,10 : 0,78
- Aditivo utilizado en la mezcla: Espuma preformada y fluidificante.

BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA



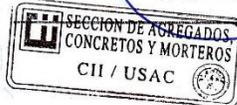
El presente informe representa únicamente las muestras identificadas en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENAMENTE,

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

Vo.Bo.

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



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

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 5. Informe del diseño práctico de mezcla M_B 7525



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



INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO

NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)

No. 11014

O.T. No. 36468

INFORME SACM - 04

HOJA 1/1

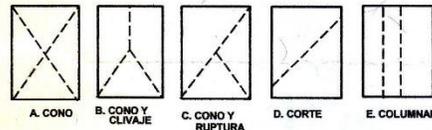
INTERESADO: Jimmy Alexander Yoc Chamale - 201021127.
PROYECTO: Tesis " Fabricación y evaluación experimental de unidades de mampostería de concreto celular de espuma preformada ".
DIRECCIÓN: CII / FIUSAC laboratorio de concretos.
EMISIÓN DE INFORME: 12 de enero de 2017

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICIÓN	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²	TIPO DE FRACTURA
3B1	85-09	27/09/2016	30/09/2016	3	Diseño de mezcla de concreto	7,335	15,168	30,457	8 800	2,20	320	B
3B2	86-09	27/09/2016	30/09/2016	3	Diseño de mezcla de concreto	7,285	15,140	30,550	11 300	2,80	410	B
7B3	126-10	27/09/2016	05/10/2016	8	Diseño de mezcla de concreto	7,385	15,000	30,503	12 200	3,10	450	B
7B4	127-10	27/09/2016	05/10/2016	8	Diseño de mezcla de concreto	7,325	15,118	30,610	12 600	3,10	450	B
28B5	128-10	27/09/2016	25/10/2016	28	Diseño de mezcla de concreto	7,295	15,075	30,587	16 800	4,20	610	E
28B6	129-10	27/09/2016	25/10/2016	28	Diseño de mezcla de concreto	7,325	15,165	30,628	16 700	4,10	600	B
56B7	144-11	27/09/2016	22/11/2016	56	Diseño de mezcla de concreto	7,450	15,065	30,643	21 500	5,40	780	B

OBSERVACIONES :

- Diseño de mezcla bajo condiciones de laboratorio.
- Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300,000 lbs.
- Dial utilizado para lectura de cargas: 300,000 lbs.
- Cilindros cabeceados según norma ASTM C-1231.
- Asentamiento de mezcla: 17 plg.
- Peso unitario: 1 480 Kg/m³.
- Contenido de aire: 35,00 %.
- Temperatura: 23,4 °C.
- Proporción utilizada: 1 : 1,97 : 0,98
- Aditivo utilizado en la mezcla: Espuma preformada y fluidificante.

BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA



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

ATENTAMENTE,

Inga Dilma Yanet Mejicanos Jol

Vo.Bo.

Ing. Francisco Javier Quiñónez 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: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 6. Informe del diseño práctico de mezcla M_B 7030



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



INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO
NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)
INFORME SACM - 05
HOJA 1/1

No. 11015

O.T. No. 36468

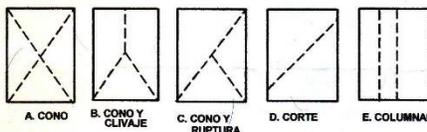
INTERESADO: Jimmy Alexander Yoc Chamale - 201021127.
PROYECTO: Tesis " Fabricación y evaluación experimental de unidades de mampostería de concreto celular de espuma preformada ".
DIRECCIÓN: CII / FIUSAC laboratorio de concretos.
EMISIÓN DE INFORME: 12 de enero de 2017

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICIÓN	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/pig	TIPO DE FRACTURA
3C1	87-09	27/09/2016	30/09/2016	3	Diseño de mezcla de concreto	7,675	15,095	30,333	11 300	2,80	410	B
3C2	88-09	27/09/2016	30/09/2016	3	Diseño de mezcla de concreto	7,625	15,020	30,510	11 400	2,90	420	E
7C3	131-10	27/09/2016	05/10/2016	8	Diseño de mezcla de concreto	7,755	15,180	30,678	15 800	3,90	570	B
7C4	132-10	27/09/2016	05/10/2016	8	Diseño de mezcla de concreto	7,640	15,128	30,580	17 200	4,30	620	B
28C5	133-10	27/09/2016	25/10/2016	28	Diseño de mezcla de concreto	7,650	15,155	30,570	19 800	4,90	710	B
28C6	134-10	27/09/2016	25/10/2016	28	Diseño de mezcla de concreto	7,645	15,180	30,613	21 600	5,30	770	C
56C7	145-11	27/09/2016	22/11/2016	56	Diseño de mezcla de concreto	7,500	15,210	30,653	24 100	5,90	860	B

OBSERVACIONES :

- Diseño de mezcla bajo condiciones de laboratorio.
- Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300,000 lbs.
- Dial utilizado para lectura de cargas: 300,000 lbs.
- Cilindros cabeceados según norma ASTM C-1231.
- Asentamiento de mezcla: 16 plg.
- Peso unitario: 1 540 Kg/m³.
- Contenido de aire: 30,00 %.
- Temperatura: 23,9 °C.
- Proporción utilizada: 1 : 1,84 : 1,17
- Aditivo utilizado en la mezcla: Espuma preformada y fluidificante.

BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA



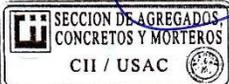
El presente informe representa únicamente las muestras identificadas en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENTAMENTE,

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

Vo.Bo.

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



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

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 7. Informe del ensayo de tiempo de fraguado de mezcla
M_B 7525



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



DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE MEZCLAS DE CONCRETO
POR SU RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN No. 11111
NORMA NTG 41017 h12 (ASTM 403/C403M-08)

O. T. 36469

INFORME SACM - 084

HOJA 1/1

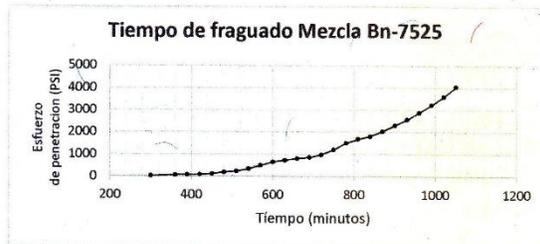
INTERESADO: Jimmy Alexander Yoc Chamale-201021127
PROYECTO: Trabajo de graduación: "Unidades de mampostería de Concreto Celular de Espuma preformada"
DIRECCIÓN: CII/FIUSAC Laboratorio de concretos
EMISIÓN DE INFORME: 28 de febrero de 2017

Cantidad en masa de materiales por metro cúbico:

Cemento Kg	Arena Kg	Piedrin Kg	Agua Litros
300	650	330	97.5

Tamaño nominal máximo: 3/8"
Relación A/C: 0,325
Aditivos utilizados: Espumante 5cc/kg cemento
Fluidificante 4cc/kg cemento
Contenido de aire: 35.00%
Fluidez: 43,2 cm
Temperatura después de tamizado: 22,9 °C
Temperatura ambiente inicial: 22,6 °C
Temperatura ambiental final: 23,5 °C
Tiempo de fraguado inicial: 575 minutos
Tiempo de fraguado final: 1 048 minutos

Tiempo (minutos)	Esfuerzo de penetración (psi)
300	20
360	56
390	70
420	75
450	111
480	184
510	236
540	332
570	488
600	650
630	720
660	800
690	860
720	980
750	1200
780	1500
810	1680
840	1800
870	2020
900	2300
930	2560
960	2880
990	3230
1020	3600
1050	4040



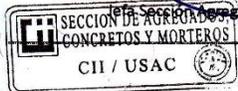
El presente informe representa únicamente la muestra identificada en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENTEMENTE,

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

Vo.Bo.

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



FACULTAD DE INGENIERIA - USAC -
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12

Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 8. Informe del ensayo de tiempo de fraguado de mezcla
M_B 7030



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



DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE MEZCLAS DE CONCRETO
POR SU RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN No. 11112
NORMA NTG 41017 h12 (ASTM 403/C403M-08)

O. T. 36469

INFORME SACM - 085

HOJA 1/1

INTERESADO:

Jimmy Alexander Yoc Chamale-201021127

PROYECTO:

Trabajo de graduación: "Unidades de mampostería de Concreto Celular de Espuma preformada"

DIRECCIÓN:

CII/FIUSAC Laboratorio de concretos

EMISIÓN DE INFORME:

28 de febrero de 2017

Cantidad en masa de materiales por metro cúbico:

Cemento Kg	Arena Kg	Piedrin Kg	Agua Litros
300	670	440	97.5

Tiempo (minutos)	Esfuerzo de penetración (psi)
360	18
420	24
480	35
540	79
570	85
600	104
630	142
660	180
690	220
720	280
750	312
780	360
810	432
840	500
870	600
900	680
930	760
960	950
990	1100
1020	1300
1050	1840
1080	2300
1110	3280
1140	4320

Tamaño nominal máximo:

3/8"

Relación A/C:

0,325

Aditivos utilizados:

Espumante 5cc/kg cemento
Fluidificante 4cc/kg cemento

Contenido de aire:

30.00%

Fluidez:

40,6 cm

Temperatura después de tamizado:

22,4 °C

Temperatura ambiente inicial:

22,2 °C

Temperatura ambiental final:

23,1 °C

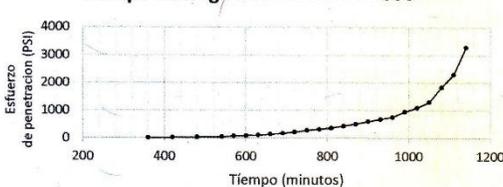
Tiempo de fraguado inicial:

840 minutos

Tiempo de fraguado final:

1 132 minutos

Tiempo de fraguado Mezcla Cn-7030



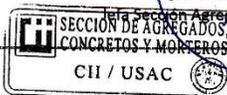
El presente informe representa únicamente la muestra identificada en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENTEMENTE,

[Handwritten signature]
Ing. Delfina Yañez Mejicanos ICI

Vo.Bo.

[Handwritten signature]
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: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 9. Informe del ensayo de evaluación de unidades de mampostería



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



Nº 22813

O.T. No. 37144 INFORME No. 69-M
INTERESADO: JIMMY ALEXANDER YOC CHAMALE
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION "FABRICACION Y EVALUACION EXPERIMENTAL DE UNIDADES DE MAMPOSTERIA DE CONCRETO CELULAR DE ESPUMA PREFORMADA"
ASUNTO: ENSAYO DE COMPRESION A BLOCKS.
FECHA: 20/03/2016

ANTECEDENTES

El estudiante JIMMY ALEXANDER YOC CHAMALE, CARNE No. 2010-21127, de la carrera de Ingeniería Civil, solicita a este Centro de Investigaciones de Ingeniería que se realizara, ensayo de compresión, a 12 blocks. Los ensayos en cuestión son parte del trabajo de tesis, "FABRICACION Y EVALUACION EXPERIMENTAL DE UNIDADES DE MAMPOSTERIA DE CONCRETO CELULAR DE ESPUMA PREFORMADA".

RESULTADOS

Identificación	Medidas promedio (cm)			Peso (Kg)	Área promedio (cm²)	Carga (Kg)	Esfuerzo Bruto (Kg/cm²)	Peso Húmedo (kg)	Peso seco (Kg)	% de ABS.
	Largo	Ancho	Altura							
h1	38.93	14.10	19.00	8.06	548.96	13607.91	24.79	1.32	1.07	18.94 %
h2	39.00	14.07	19.00	8.03	548.60	12700.72	23.15	1.47	1.20	18.37 %
h3	38.97	14.00	19.00	8.24	545.53	13607.91	24.94	1.44	1.19	17.53 %
LI 1	38.97	14.00	19.00	14.26	545.53	22679.85	41.57	1.21	0.95	21.23 %
LI 2	38.97	14.00	19.00	14.09	545.53	22226.25	40.74	3.57	2.82	20.94 %
LI 3	38.97	14.00	19.00	14.32	545.53	24494.24	44.90	2.22	1.76	20.79 %

Nota:
A solicitud del interesado se hace el presente informe con únicamente 06 ensayos de blocks, quedando pendientes 06 blocks para ensayo que el interesado en su momento no presenta.

Atentamente,

M.Sc. Ing. Pablo Christian De León Rodríguez
Jefe de Metales y Productos
Manufacturados



Vo.Bo.

Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR C.I.I.



/cbr

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://cici.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

