



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

**COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE
BLOQUES DE CONCRETO Y BLOQUES DE CONCRETO CON ADICIÓN DE
POLIESTIRENO EXPANDIDO**

Sergio Estuardo González Pérez

Asesorado por el Ing. Luis Mariano Álvarez Muralles

Guatemala, mayo de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE
BLOQUES DE CONCRETO Y BLOQUES DE CONCRETO CON ADICIÓN DE
POLIESTIRENO EXPANDIDO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

SERGIO ESTUARDO GONZÁLEZ PÉREZ
ASESORADO POR EL ING. LUIS MARIANO ALVAREZ MURALLES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordoñez Morales
EXAMINADOR	Ing. Walter Rolando Salazar González
EXAMINADOR	Ing. Daniel Alfredo Cruz Pineda
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE BLOQUES DE CONCRETO Y BLOQUES DE CONCRETO CON ADICIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 29 de octubre de 2015.

Sergio Estuardo González Pérez

Guatemala, 15 de febrero de 2017

Ingeniero
José Gabriel Ordoñez Morales
Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos
Guatemala

Ingeniero Ordoñez

Por este medio me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE BLOQUES DE CONCRETO Y BLOQUES DE CONCRETO CON ADICIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO**, elaborado por el estudiante **Sergio Estuardo González Pérez**, quien contó con la asesoría del suscrito.

Considerando que el trabajo desarrollado por el estudiante González Pérez satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Luis Mariano Alvarez Muralles
Colegiado 10253
Asesor

Luis Mariano Alvarez Muralles
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 10253



USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala,
 03 de abril de 2017

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

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE BLOQUES DE CONCRETO Y BLOQUES DE CONCRETO CON ADICIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Sergio Estuardo González Pérez quien contó con la asesoría del Ing. Luis Mariano Álvarez Muralles.

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 Ordóñez Morales
 Coordinador del Área de Materiales y
 Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/mrrm.





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. Luis Mariano Álvarez Muralles y del Coordinador del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Sergio Estuardo González Pérez **COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE BLOQUES DE CONCRETO Y BLOQUES DE CONCRETO CON ADICIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


 Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, mayo 2017
 /mrrm.



Universidad de San Carlos
de Guatemala

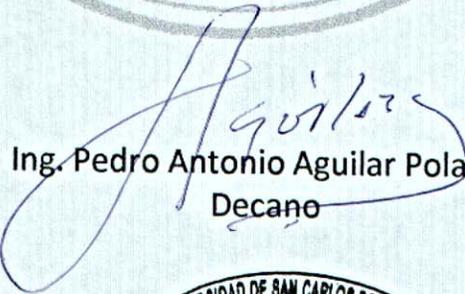


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 205.2017

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: **COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE BLOQUES DE CONCRETO Y BLOQUES DE CONCRETO CON ADICIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO**, presentado por el estudiante universitario: **Sergio Estuardo González Pérez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, mayo de 2017



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Mi hermano** Melvin Leonel (q. d. e. p.), por ser la fuente de inspiración para mis metas y objetivos, recordando siempre la alegría y humildad con la que vivió la vida.
- Mi papá** Humberto Alfonso, por ser el mejor papá que Dios me pudiera regalar, entregándose a su familia en cuerpo y alma, por ser mi apoyo y mi ejemplo a seguir.
- Mi mama** Vilma Esperanza, por su amor incondicional y mi fortaleza a lo largo de mi vida, por enseñarme el valor de la vida y el amor a Dios.
- Mis hermanos** Claudia Lorena, Humberto David y Edgar Raul, por su apoyo, cariño, ejemplo y compañía a lo largo de mi vida, son parte fundamental de este logro.
- Mis sobrinos** Fernando Leonel y Sofía Natalia, por la alegría que han atraído a nuestras vidas.
- Mi tía** Josefa, por su cariño y apoyo que me ha brindado de forma incondicional.

Mi prima

Blanca Amelia, por su ayuda en unos de los momentos más difíciles de nuestra vida.

AGRADECIMIENTOS

Dios	Por ser fuente inagotable de sabiduría y regalarme el don de la vida.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi alma mater y darme las herramientas necesarias para ser un profesional.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme el conocimiento que me ayudarán al desarrollo de mi vida profesional.
Multiblocks	Por abrirme las puertas de sus instalaciones para el desarrollo de toda la investigación de este trabajo, en especial al Ingeniero Josue Rolando Castellanos por su valiosa ayuda y apoyo.
Ing. Mariano Álvarez	Por su valiosa asesoría brindada para la realización de este trabajo de investigación.
Familia Montenegro Morales	Por su amistad brindada durante estos años.
Mis amigos	Por la amistad que me han dado de manera desinteresada.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
2. BLOQUES DE CONCRETO.....	3
2.1. Definición.....	3
2.2. Materiales	4
2.2.1. Cemento	4
2.2.2. Agregado fino	5
2.2.3. Agregado grueso	6
2.2.4. Polvo de piedra caliza.....	7
2.2.5. Sedimento de roca gris.....	7
2.3. Inconvenientes comunes en la utilización de bloques de concreto pesados	8
2.3.1. Peso elevado de la estructura	8
2.3.2. Costo de transporte	8
2.3.3. Rendimiento en mano de obra.....	8
2.4. Normas técnicas para determinar las características físicas y propiedades mecánicas de los bloques de concreto	9
2.4.1. Norma COGUANOR NTG 41054	9
2.4.1.1. Objeto	9

	2.4.1.2.	Terminología	9
	2.4.1.3.	Clasificación, designación y usos	10
	2.4.1.4.	Especificaciones.....	11
	2.4.1.5.	Muestreo	11
2.4.2.		Norma COGUANOR NTG 41055 h1	12
	2.4.2.1.	Objeto.....	12
	2.4.2.2.	Aparatos	12
	2.4.2.3.	Muestra o especímenes de ensayo.....	13
	2.4.2.4.	Preparación de las muestras.....	13
	2.4.2.5.	Procedimiento de ensayo	13
	2.4.2.6.	Expresión de resultados	15
	2.4.2.7.	Informe de ensayo.....	15
3.		POLIESTIRENO EXPANDIDO	17
	3.1.	Definición	17
	3.2.	Composición del poliestireno expandido	17
	3.3.	Características físicas	18
		3.3.1. Aislación térmica	18
		3.3.2. Resistencia mecánica	19
		3.3.3. Agua y vapor de agua	19
		3.3.4. Absorción de agua	20
		3.3.5. Comportamiento frente a las temperaturas	20
		3.3.6. Estabilidad dimensional.....	20
		3.3.7. Influencia atmosféricas y de radiaciones.....	21
	3.4.	Propiedades químicas.....	22
	3.5.	Propiedades biológicas	24
	3.6.	Usos en la construcción	24
		3.6.1. Morteros livianos	26
		3.6.2. Bovedillas	26

3.6.3.	Muros.....	27
4.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	29
4.1.	Análisis de información.....	29
4.2.	Dotación del recurso.....	29
4.3.	Preparación del recurso.....	30
4.4.	Caracterización del poliestireno expandido	30
4.5.	Evaluaciones preliminares.....	31
4.5.1.	Evaluación de calidad de las perlas de poliestireno expandido.....	31
4.5.2.	Evaluación del agregado fino.....	31
4.5.3.	Evaluación del agregado grueso	35
4.5.4.	Evaluación del cemento.....	36
4.6.	Diseño de mezcla para la elaboración de bloques de concreto con adición de poliestireno expandido.....	37
4.7.	Fabricación de bloques de concreto con adición de poliestireno expandido.....	39
4.7.1.	Tiempo de mezclado	40
4.7.2.	Vibro-compactación	41
4.7.3.	Temperatura y tiempo en el horno.....	42
4.7.4.	Tiempo de sacado a la intemperie.....	42
4.8.	Evaluación de los bloques con adición de poliestireno expandido.....	43
4.8.1.	Toma de pesos y dimensiones	44
4.8.2.	Preparación para el ensayo a compresión	46
4.8.3.	Ensayo de carga a compresión	46
5.	RESULTADOS.....	49
5.1.	Caracterización del poliestireno expandido	49

5.1.1.	Determinación de las propiedades mecánicas de los bloques de concreto clase A y bloques de concreto con adición de poliestireno expandido.....	49
5.1.2.	Características físicas de los bloques de concreto clase A con adición de poliestireno expandido.....	49
5.2.	De las pruebas previas.....	50
5.2.1.	Pesos de las muestras	52
5.2.2.	Dimensiones de las muestras	54
5.2.3.	Resistencia a la compresión.....	55
5.2.4.	Determinación de la absorción	57
6.	ANALISIS DE RESULTADOS.....	59
6.1.	Características del poliestireno expandido	59
6.2.	Ensayos preliminares	60
6.3.	Peso de los bloques	61
6.4.	Resistencia a la compresión	62
	CONCLUSIONES.....	63
	RECOMENDACIONES	65
	BIBLIOGRAFÍA.....	67
	ANEXOS.....	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Bloques de concreto.....	3
2.	Cemento Portland	4
3.	Agregado fino	6
4.	Agregado grueso	7
5.	Formula química del poliestireno expandido	17
6.	Bovedilla de poliestireno expandido	27
7.	Dotación del poliestireno expandido.....	30
8.	Equipo utilizado para el análisis granulométrico.....	33
9.	Equipo utilizado para la determinación de la densidad relativa y absorción de agua para el agregado fino.....	34
10.	Ensayo para la determinación de materia orgánica en los agregados finos ASTM C-40	35
11.	Cemento tipo III	37
12.	Planta de producción de bloques de concreto.....	39
13.	Maquina mezcladora	40
14.	Tablero de controles.....	41
15.	Vibro-compactación del material en los moldes	41
16.	Túneles de curado.....	42
17.	Apilamiento de bloques a la intemperie.....	43
18.	Bloques de concreto y bloques de concreto con adición de poliestireno expandido.....	44
19.	Toma de pesos y dimensiones de los bloques.....	45
20.	Nivelación de bloques de concreto.....	46

21.	Ensayo de carga a compresión.....	47
-----	-----------------------------------	----

TABLAS

I.	Resistencia mínima a compresión sobre área neta	11
II.	Máxima absorción de agua permitida	11
III.	Muestreo de bloques de concreto.....	12
IV.	Características físicas del poliestireno expandido	22
V.	Estabilidad química del poliestireno expandido	23
VI.	Dosificación del diseño de mezcla base para 72 unidades.....	38
VII.	Dosificación del diseño de mezcla base con adición de poliestireno expandido para 72 unidades.....	38
VIII.	Resultados del diseño de la mezcla base.....	50
IX.	Resultados del diseño de la mezcla patrón con adición de poliestireno expandido	51
X.	Diseño de la mezcla base con poliestireno expandido y aumento de cemento	51
XI.	Dosificación óptima para la fabricación de bloques de concreto con adición de poliestireno expandido para 72 unidades	51
XII.	Peso de las muestras a 1 día de edad.....	52
XIII.	Peso de las muestras a 3 días de edad.....	52
XIV.	Peso de las muestras a 7 días de edad.....	53
XV.	Peso de las muestras a 14 días de edad.....	53
XVI.	Peso de las muestras a 28 días de edad.....	54
XVII.	Dimensiones de las muestras ensayadas.....	54
XVIII.	Resultados de ensayo a compresión a 1 día de edad	55
XIX.	Resultados de ensayo a compresión a 3 días de edad	55
XX.	Resultados de ensayo a compresión a 7 días de edad	56
XXI.	Resultados de ensayo a compresión a 14 días de edad	56

XXII.	Resultados de ensayo a compresión a 28 días.....	57
XXIII.	Resultados de absorción en % de masa.....	57

LISTA DE SIMBOLOS

Símbolo	significado
Cm	Centímetro
Cm²	Centímetro cuadrado
°C	Centígrados
Kg	Kilogramo
Kg/cm²	Kilogramo por centímetro al cuadrado
Kg/cm³	Kilogramo por centímetro al cubo
Mm	Milímetros
%	Porcentaje

GLOSARIO

Aglomerante	Material que sirve para unir fragmentos o partículas de una o más sustancias y compactarlas, formando una sola cosa.
Agregado grueso	Es uno de los principales componentes del concreto, está formado por roca triturada o grava.
Aislación	Colocar un cuerpo fuera del alcance de la propagación de energía calorífica, sonora, etc.
Aligerar	Hacer una cosa menos pesada.
Compresión	Presión sometida sobre un cuerpo para reducir su volumen.
Concreto	Roca artificial constituida por arena, grava, roca triturada, unidos por una pasta de agua y cemento.
Curado	Mantenimiento de un adecuado contenido de humedad y temperatura del concreto a edades tempranas.
Dosificación	Cantidad de materiales que debe añadirse en cada etapa de un proceso.

Ensayo	Prueba que se le hace a una cosa antes de darle el visto bueno.
Fraguado	Es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del concreto.
Mampostería	Sistema tradicional de construcción que consiste en erigir muros con elementos mampuestos.
Norma	Regla o conjunto de reglas que hay que seguir para llevar a cabo una acción.
Paletizado	Preparación de cápsulas cubiertas con una capa de alguna sustancia o producto que tiene efectos secundarios.
Poliestireno expandido	Material plástico espumado derivado del poliestireno.
Polímero	Macromolécula formada por medio de la polimeración de las moléculas elementales llamado monómero. Poseen elevado peso molecular, excelente elasticidad y resistencia, capacidad para formar fibras.
Tabique	Pared delgada que sirve para separar estancias dentro de un edificio.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación es un estudio de las características físicas y propiedades mecánicas de bloques de concreto con adición de poliestireno expandido, comparado con las propiedades físicas y mecánicas de bloques de concreto tradicional clase A.

Las esferas de poliestireno expandido que fueron proporcionadas en diámetros de 2 mm son suficientemente pequeñas para homogeneizar con el resto de componentes del concreto. La concentración óptima de dicho material dentro del concreto se determinó en 4 gramos por kilogramo de cemento; para determinar esta concentración óptima, se hicieron varias pruebas con diferentes proporciones de poliestireno expandido con el objetivo de observar las diferencias en el comportamiento de la resistencia a la compresión y el peso.

Los resultados de las pruebas pusieron en evidencia el hecho de que la adición de esferas de poliestireno expandido reduce la resistencia y peso de los bloques de concreto; el peso reducido con la concentración óptima es de 1 kilogramo por unidad producida, lo que corresponde al 6 % del peso de un bloque de concreto tradicional. En lo referente al comportamiento de la resistencia a la compresión, con la concentración óptima de poliestireno expandido, la resistencia se reduce en un 65 % respecto al bloque de concreto tradicional; para compensar esta reducción de resistencia se redujo la relación A/C logrando establecer ambos bloques con las especificaciones para un bloque clase A.

Los resultados demuestran que no es factible producir bloques de concreto con adición de poliestireno expandido ya que la pérdida de peso no es significativa y el costo se eleva por el incremento de cemento.

OBJETIVOS

General

Comparar las propiedades mecánicas y características físicas de bloques de concreto clase A y bloques de concreto con adición de poliestireno expandido.

Específicos

1. Determinar la resistencia a compresión de bloques de concreto con adición de poliestireno expandido.
2. Registrar la variación del peso unitario de los bloques de concreto y los bloques de concreto con adición de poliestireno expandido.
3. Determinar la dosificación óptima de los materiales que permitan tener el peso unitario mínimo de los bloques de concreto con adición de poliestireno expandido.
4. Determinar la absorción de los bloques de concreto con adición de poliestireno expandido.
5. Determinar las dimensiones de los bloques de concreto con adición de poliestireno de acuerdo con lo que indican las normas.

INTRODUCCIÓN

Los bloques de concreto están fabricados a base de pedrín, arena, cemento y aditivos debidamente dosificados, para su uso, utilizados como elementos de construcción en proyectos habitacionales, edificios, escuelas, muros de retención, etc. En la búsqueda de tratar de aligerar la carga muerta de las estructuras, se pretende introducir nuevos materiales en los bloques de concreto por un material que proporcione características similares.

Las características que proporcionan los agregados en los bloques de concreto clase A son: evita la fisura, ayuda en el endurecimiento o fraguado y proporciona volumen; el material que se pretende incorporar a la mezcla es el poliestireno expandido que contribuye a las modernas tendencias de introducir materiales livianos en la construcción, proporcionando importantes ventajas de tipo técnico y económico.

El poliestireno expandido puede aportar características similares a la de los agregados con un menor peso unitario que ayuda notablemente a la reducción de la carga muerta de la estructura.

Para determinar la utilización de esta nueva mezcla se realizarán trabajos de laboratorio: la realización los de dos mezclas: una normal y otra experimental a la cual se le añadirá dentro de su dosificación el poliestireno expandido con el fin de comparar la resistencia a compresión de ambas mezclas y el análisis de los pesos de ambas muestras.

1. ANTECEDENTES

En 1831 un líquido incoloro, el estireno, fue aislado por primera vez de una corteza de árbol, hoy en día se obtiene mayormente del petróleo. El poliestireno expandido fue sintetizado por primera vez a nivel industrial en 1930. Hacia fines de la década del 50, la firma BASF, por iniciativa del doctor F. Stastny, desarrolla e inicia la producción de un nuevo producto.

Ese mismo año fue utilizado como aislante en una construcción dentro de la misma planta de BASF, donde se realizó el descubrimiento. Al cabo de 45 años, frente a escribanos y técnicos de distintos institutos europeos, se levantó parte de ese material y se les sometió a todas las pruebas y verificaciones posibles. La conclusión fue que el material después de 45 años de utilizado mantenía todas y cada una de sus propiedades intactas.

El poliestireno expandido es un polímero en forma de perlas esféricas, obtenido a partir del estireno y un agente de expansión llamado pentano. Este polímero, después de pasar por los procesos de expansión, maduración y moldeo, se convierte en los productos que se aplican en la construcción. Los primeros estudios sobre concreto aligerado con poliestireno expandido se llevaron a cabo entre los años de 1950 y 1960, en Alemania Occidental.

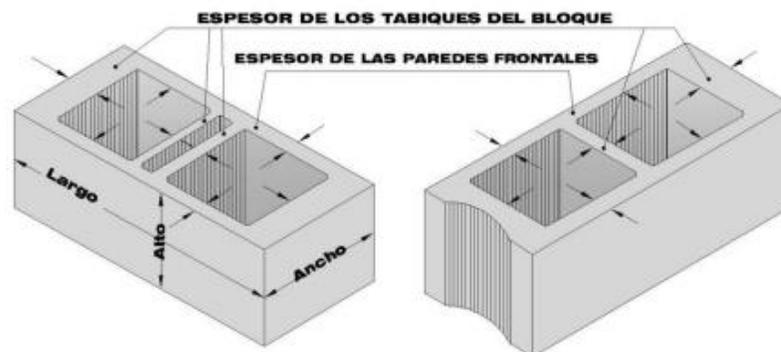
2. BLOQUES DE CONCRETO

2.1. Definición

Es un elemento simple, hecho de concreto, en forma de prisma, con uno o más huecos transversales en su interior, de manera que:

- El área neta del elemento sea de un 50 % a un 75 % del área bruta del elemento.
- Cuando es usado en un muro, forma cavidades internas con un área total en el plano horizontal, de más del 25 % pero no más del 50 % del área de la sección transversal horizontal del muro.

Figura 1. Bloques de concreto



Fuente: Comisión Guatemalteca de Normas. *NTG 41054 (Norma técnica guatemalteca).*

Bloques de concreto. p. 103.

2.2. Materiales

2.2.1. Cemento

Se denomina cemento a un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua.

La palabra cemento se define como un material que tiene propiedades de adherencia y cohesión, lo que le permite unir fragmentos de minerales entre sí, para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuada. Esta definición no solo abarca los cementos sino una gran variedad de materiales como las cales, asfaltos y alquitranes.

El cemento es un material aglutinante con finura similar al talco que tiene a la caliza como materia prima base; formado por diversos cristales y vidrios que al mezclarse con el agua producen una jalea de hidrosilicatos de calcio de excelente pegadura; capaz de unir fragmentos pétreos para formar un conglomerado moldeable, durable, resistente e impermeable a voluntad, adaptable a diversos usos.

Figura 2. **Cemento Portland**



Fuente: PCA. *Diseño y control de mezclas de concreto*. p. 25.

2.2.2. Agregado fino

En geología se denomina así al material compuesto de partículas de tamaño variable entre 0,063 milímetros y 2 milímetros. Cada partícula dentro de este rango lleva el nombre de grano de arena.

Las arenas, son cuerpos complejos que se encuentran en numerosas canteras resultado de la disgregación de las rocas naturales, por procesos mecánicos o químicos, arrastradas por el afluyente de aguas o aire y depositadas por orden de densidad en capas ligeramente paralelas. Las arenas artificiales se obtienen mediante la trituración y molienda de rocas duras determinadas.

Para determinar la calidad de la arena, se hace necesaria la realización de algunas pruebas periódicas para determinar la variabilidad de sus características. Los factores que influyen en la variabilidad están influenciados por contaminación con materiales extraños, su origen, por el cambio gradual y la distribución de los tamaños de grano y por su continua exposición a altas temperaturas, las pruebas pueden ser tanto químicas como mecánicas.

La norma guatemalteca obligatoria COGUANOR NGO 41 006 define el agregado fino de dos maneras; las circunstancias definirán cuál de los dos significados utilizar según sea el caso.

- Agregado que pasa el tamiz núm. 9,5 milímetros, que pasa casi completamente el tamiz núm. 4 (4,75 milímetros) y es retenido casi en su totalidad por el tamiz núm. 200 (75 micrómetros).

- Aquella porción de agregado que pasa por el tamiz núm. 4 y que es retenida sobre el tamiz núm. 200.

Figura 3. **Agregado fino**



Fuente: PCA. *Diseño y control de mezclas de concreto*. p. 103.

2.2.3. Agregado grueso

Está formado fundamentalmente por gravas, gravas trituradas, piedra triturada, escoria de hornos de explosión, concreto de cemento hidráulico triturado o una combinación de lo anterior; se considera como el material retenido a partir del tamiz núm. 4, para su buena utilización no deben ser demasiado porosos ni de forma muy alargada de acuerdo con los requerimientos que establece la norma ASTM C-33.

Los agregados gruesos deben conformar los requerimientos descritos en la norma ASTM C-33 para cada número de tamiz, según el tamaño de agregado a utilizar. El tamaño del agregado se encuentra en función de las necesidades específicas para el diseño del concreto.

Figura 4. **Agregado grueso**



Fuente: PCA. *Diseño y control de mezclas de concreto*. p. 103.

2.2.4. Polvo de piedra caliza

Piedra Caliza. Nombre común del carbonato calcio. Contiene alto porcentaje de calcita, de materiales tríticos, como cuarzo o arcilla, lo que puede aportar un color más oscuro que el de la caliza más pura.

La caliza es una roca sedimentaria que permite el paso del agua, es decir, es una roca permeable. Cuando el agua penetra en la caliza se lleva a cabo el proceso de disolución, mediante el cual se disuelve el carbonato de calcio. Fractura, exfoliación sistema cristalino, dureza, color, color de raya, densidad y brillo. Contiene silicatos y sílice en diversas proporciones; solubles en agua.

2.2.5. Sedimento de roca gris

Las rocas sedimentarias son rocas que se forman por acumulación de sedimentos, partículas de diversos tamaños que son transportadas por el agua,

el hielo o el aire, sometidas a procesos físicos y químicos (diagénesis) que dan lugar a materiales consolidados.

2.3. Inconvenientes comunes en la utilización de bloques de concreto pesados

2.3.1. Peso elevado de la estructura

Cuando se utilizan elementos prefabricados de peso elevado, las cargas muertas se incrementan provocando momentos grandes en todos los elementos estructurales que la componen, con la consecuencia del diseño de elementos estructurales de gran sección transversal antieconómicos.

2.3.2. Costo de transporte

En Guatemala, el costo de transporte depende de la empresa de transportes: algunas lo cobran por distancia, otras por carga y otros por el contenido de lo transportado.

En el caso del transporte de bloques de concreto no se pueden establecer costos ya que depende de la ruta, estado de la carretera, estado del vehículo y del peso total de lo transportado.

2.3.3. Rendimiento en mano de obra

En la manipulación y construcción de estructuras con elementos de construcción pesados el rendimiento de la mano de obra disminuye considerablemente afectando directamente el tiempo de ejecución de la obra lo que afecta directamente el costo total del proyecto.

El levantado y pegado de bloques de concreto pesados es más lento que al tener a la mano un elemento más ligero este último permite rapidez y agilidad a los trabajadores en la manipulación de los bloques logrando un aumento de la productividad.

2.4. Normas técnicas para determinar las características físicas y propiedades mecánicas de los bloques de concreto

2.4.1. Norma COGUANOR NTG 41054

2.4.1.1. Objeto

Establecer los requisitos que deben cumplir los bloques huecos de concreto para muros (paredes y tabiques), destinados o no a soportar cargas, fabricados ó comercializados en Guatemala.

2.4.1.2. Terminología

- Medidas principales: se entiende por medidas principales del bloque, ancho, alto y largo.
- Área bruta: es la superficie normal al eje de los huecos sin descontar la superficie de los huecos.
- Área neta: es igual a la superficie bruta menos la superficie de los huecos.
- Volumen neto: es el volumen del bloque calculado de dividir la masa seca del bloque entre su densidad aparente.

- Volumen bruto: es el volumen del bloque calculado con sus medidas principales.

2.4.1.3. Clasificación, designación y usos

La clasificación se realiza por la resistencia a compresión y por el porcentaje de absorción máxima de humedad.

- Clase A. Uso estructural con baja absorción de humedad

Muros de contención, muros de cimentación, muros de división que soportarán carga. Para edificaciones con áreas mayores de 100 m² de construcción, de uno o dos niveles.

- Clase B. Uso general con mediana absorción de humedad

Muros exteriores o interiores que soportan carga sobre el nivel del suelo para edificaciones con un área máxima de 100 m² de construcción y distribución simétrica, de uno o dos niveles

- Clase C. Uso no estructural con alta absorción de humedad

Muros exteriores o interiores sobre el nivel del suelo que no soportan carga o que la soportan en muros de edificaciones de un nivel, menores de 50 m².

2.4.1.4. Especificaciones

Resistencia a la compresión: los bloques huecos de concreto deben cumplir con la resistencia especificada en la tabla I.

Tabla I. **Resistencia mínima a compresión sobre área neta**

Clase	Resistencia mínima a compresión, calculada sobre área neta del bloque kg/cm^2	
	Promedio de 5 bloques o más	Mínimo de bloque individual
A	133	113
B	100	85
C	66	56

Fuente: Comisión Guatemalteca de Normas. *NTG 41054 (Norma técnica guatemalteca, Bloques de concreto.* p. 110.

- Máxima absorción de agua: la máxima absorción de agua de los bloques huecos de concreto, en 24 horas, será la que se indica en la tabla 2.

Tabla II. **Máxima absorción de agua permitida**

Clase	Absorción (en % de masa)	
	Promedio de 3 bloques	Valor máximo bloque individual
A	10	11
B	15	16,5
C	20	22

Fuente: Comisión Guatemalteca de Normas. *NTG 41054 (Norma técnica guatemalteca).* *Bloques de concreto.* p. 111.

2.4.1.5. Muestreo

El muestreo para determinar o validar la resistencia a compresión, la medida de las dimensiones y la absorción de un bloque de concreto y su densidad, se debe realizar de acuerdo a los criterios mostrados en la siguiente tabla:

Tabla III. **Muestreo de bloques de concreto**

Cantidad fabricada	Muestra mínima (ensayo a compresión y dimensiones)	Muestra mínima (ensayo de absorción y densidad)
0-10 000	5	3
10 001-100 000	10	6
>100 000	5 unidades por cada 50 000 fabricadas	3 unidades por cada 50 000 unidades

Fuente: Comisión Guatemalteca de Normas. *NTG 41054 (Norma técnica guatemalteca). Bloques de concreto. p. 112.*

2.4.2. Norma COGUANOR NTG 41055 h1

2.4.2.1. Objeto

Esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar la resistencia a la compresión en los bloques huecos de concreto para muros (paredes y tabiques), contemplados en la norma NTG 41054.

2.4.2.2. Aparatos

- Crayón
- Cinta métrica graduada en milímetros
- Horno a temperatura uniforme de 230 ± 9 °F (110 ± 5 °C)
- Balanza con capacidad de 20 kg y aproximación de $\pm 0,5$ gramos
- Olla para diluir azufre de 7 litros de capacidad
- Molde para nivelación de bloques
- Azufre en polvo
- Máquina con sistema para compresión de bloques de concreto

2.4.2.3. Muestra o especímenes de ensayo

La cantidad de bloques dependerá de la producción: si el lote es de 10 000 unidades o menos se tomarán 5 bloques; cuando el lote esta entre 10 001 a 100 000 unidades tomar 10 bloques; para más de 100 000 unidades tomar 5 bloques por cada 50 000 unidades.

2.4.2.4. Preparación de las muestras

Para el ensayo de la resistencia a la compresión, las superficies de carga de los bloques deben nivelarse en forma adecuada empleando uno de los siguientes métodos.

Se prepara una mezcla que contenga 40 a 60 % de azufre y el resto, para completar el 100 %, de arcilla pulverizada u otro material inerte apropiado que pase el tamiz núm. 100 (150 μm), se puede o no agregar un plastificante apropiado. Dicha mezcla se calienta a una temperatura o lo suficiente para mantenerla fundida y fluida durante un período razonable de tiempo después de que se ponga en contacto con la superficie del bloque a ser nivelado. Se debe tener especial cuidado de no sobrecalentar dicha mezcla y de agitarla muy bien antes de usarla.

2.4.2.5. Procedimiento de ensayo

- Identificar cada bloque con una letra o número correlativo, con crayón.
- Medir la longitud de cada una de las dos caras, tomando las medidas al centro, con aproximación de 1 mm.

- Medir la altura de cada una de las dos caras, tomando las medidas al centro desde el fondo hasta la parte superior del bloque, con aproximación de 1mm.
- Medir el ancho, que es la distancia exterior entre las dos caras del bloque a la mitad del largo o a la mitad del alto. Tomando las medidas al centro con aproximación de 1 mm.
- Tomar la masa natural de cada bloque (mn).
- Si las superficies del bloque se encuentran desniveladas, nivelar con yeso o azufre las dos superficies del bloque, que soportarán la compresión; esperar como mínimo 2 horas hasta que se enfríe el azufre, antes de realizar el ensayo.
- Colocar el bloque nivelado en el centro del sistema de la máquina, donde se le aplicará la carga hasta la mitad de la máxima carga esperada, a una velocidad conveniente; aplicándole la carga restante a una velocidad uniforme no menos de 1 minutos y sin exceder 2 minutos hasta la carga máxima de compresión.
- Sumergir una fracción del bloque en agua a temperatura ambiente de 15 °C a 27 °C durante 24 horas.
- Se extrae la fracción del bloque del agua dejándolo drenar por 1 minuto, sobre una malla gruesa de alambre de 9,5 mm o más de abertura; con un paño ligeramente húmedo se extrae el agua superficial visible, tomar la masa húmeda (mh).

- Colocar la fracción del bloque en el horno a 100 °C o 115 °C durante 24 horas; transcurrido el tiempo, extraerlo del horno dejándolo enfriar hasta poderlo palpar, aproximadamente 4 horas como mínimo, tomar la masa seca (ms).

2.4.2.6. Expresión de resultados

La resistencia a la compresión del bloque hueco de concreto se obtiene dividiendo la carga máxima a la rotura entre la superficie de carga del bloque; esta, a su vez, puede ser la superficie bruta o la superficie neta según lo requiera la parte interesada.

2.4.2.7. Informe de ensayo

En el informe del ensayo debe indicarse lo siguiente:

- El método usado y el resultado obtenido para cada espécimen, así como el promedio de las determinaciones en los 5 bloques ensayados.
- Cualquier condición no especificada en la norma, o señalada como opcional, así como cualquier circunstancia que pueda hacer influido en los resultados.
- Todos los detalles necesarios que permitan la completa identificación de la muestra.

3. POLIESTIRENO EXPANDIDO

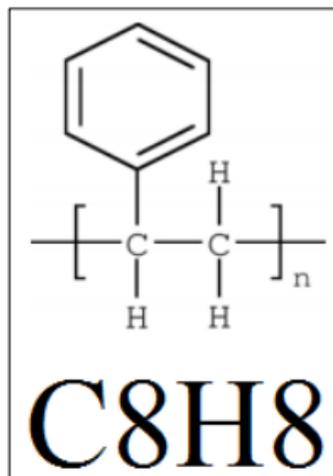
3.1. Definición

El poliestireno expandido se define técnicamente como un material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas preexpandidas de poliestireno expandible o uno de sus copolímeros que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire.

3.2. Composición del poliestireno expandido

El poliestireno como la gran mayoría de los polímeros termoplásticos es un derivado de los hidrocarburos (petróleo o gas natural).

Figura 5. **Fórmula química del poliestireno expandido**



Fuente: NOVIDESA. *Boletín técnico número 4*. p. 3.

3.3. Características físicas

Son las que hacen diferentes a los demás materiales; son las encargadas de la versatilidad de este material, lo que ha hecho que el poliestireno expandido sea utilizado en una gran cantidad de actividades y ocupaciones que realiza el ser humano.

3.3.1. Aislación térmica

La característica física más importante del poliestireno expandido es su extraordinaria capacidad de aislación térmica contra el frío y el calor. Las celdillas que lo conforman poseen la forma de poliedros totalmente cerrados, de diámetros entre 0,2 y 0,5 milímetros y un espesor de pared de 0,001 milímetros. El material expandido está constituido por un 98 % de aire y un 2 % de poliestireno.

El aire aprisionado es factor fundamental para mantener la capacidad de aislación cuyo extraordinario efecto aislante es ampliamente conocido. El aire permanece encerrado en las celdillas ayudando a que la capacidad aislante permanezca invariable en función del tiempo.

La capacidad de aislación térmica de un material se realiza mediante el coeficiente de conductividad térmica, cantidad de calor que pasa en una hora a través de una capa de material de 1 metro cuadrado de superficie y 1 metro de espesor en un régimen de flujo térmico constante.

De hecho, muchas de sus aplicaciones están directamente relacionadas con esta propiedad: por ejemplo, cuando se utiliza como material aislante de los

diferentes cerramientos de los edificios o en el campo del envase y embalaje de alimentos frescos y perecederos, por ejemplo, las familiares cajas de pescado.

3.3.2. Resistencia mecánica

Una propiedad importante del poliestireno expandido es su resistencia de cargas que provocan esfuerzos de corte, mediante la resistencia a compresión.

Dado que el poliestireno expandido pertenece a los materiales rígidos y tenaces, se indica la tensión indirecta por compresión, a una determinada deformación en lugar de la resistencia a la compresión.

La resistencia a los efectos mecánicos de los productos de poliestireno expandido se evalúa generalmente a través de las siguientes propiedades:

- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la flexión
- Resistencia a la tensión
- Resistencia a la cizalladura o esfuerzo cortante

3.3.3. Agua y vapor de agua

El poliestireno expandido tiene formas de actuar diferentes para estos 2 estados de la material; si bien la diferencia entre ambos es la separación de las partículas que componen el agua, ocasiona diversas reacciones en el material.

3.3.4. Absorción de agua

Al contrario de muchos otros materiales de construcción, el poliestireno expandido no es higroscópico. Este material absorbe solamente una pequeña cantidad de humedad. Los valores medidos corresponden a probetas sin piel de moldeo que permanecen sumergidos en agua.

3.3.5. Comportamiento frente a las temperaturas

Para la aplicación del poliestireno expandido en la construcción, no existe ninguna limitación con respecto a la temperatura mínima. En los casos donde existe la posibilidad de que se produzcan contracciones volumétricas de origen térmico éstas deben tenerse presente en la etapa de diseño. Cuando permanece expuesto a la acción de temperaturas más elevadas, entonces, la temperatura máxima admisible dependerá de la duración de esta acción y de la sollicitación mecánica a la que sea sometido el material.

En el caso de una acción térmica de corta duración, hasta un máximo de treinta minutos, el material puede ser sometido a temperaturas no superiores a 100 grados centígrados sin sufrir alteración alguna.

3.3.6. Estabilidad dimensional

Todos los materiales están sometidos a determinadas variaciones dimensionales ya sea materias primas, elementos prefabricados, o bien, elementos de construcción.

La estabilidad dimensional al calor se determina a temperaturas de hasta 70 grados centígrados, para garantizar una mayor estabilidad dimensional al

calor a una temperatura de 80 grados centígrados, se consideran ensayos especiales. El uso de tales planchas queda reservado para campos de aplicación especiales, como por ejemplo, aislación de losas de estacionamiento.

Los ensayos correspondientes han confirmado que las planchas de poliestireno expandido con una densidad adecuada cumplen, también, con estas elevadas exigencias.

En el poliestireno expandido la estabilidad dimensional se diferencia entre variaciones dimensionales originadas por la acción del calor o por contracción posterior del material. El fuego es el máximo enemigo del poliestireno expandido, ya que este material soporta una temperatura máxima de 85 grados centígrados sin cambiar su volumen, mientras que la temperatura más baja del fuego, se encuentra en las llamas rojas alcanzando los 500 grados centígrados; la llama que posee la temperatura más alta es la de oxihidrógeno, cuando hay fuego y hay hidrógeno en el aire, que alcanza una temperatura media de 2 000 grados centígrados.

3.3.7. Influencia atmosféricas y de radiaciones

La acción prolongada de las radiaciones, por ejemplo, los rayos ultravioletas UV, de onda corta o los rayos X y rayos, vuelven quebradiza la estructura del material debido a que provocan que el material se cristalice. Este proceso está determinado por el tipo de radiación, de la dosis y del período de tiempo durante el cual actúa sobre el material.

La radiación ultravioleta es prácticamente la única que merece ser considerada en la construcción. Bajo la interacción constante de la luz ultravioleta, la superficie del poliestireno expandido se torna amarillenta y se

vuelve quebradiza, de manera que el viento y la lluvia logran erosionarla; estos efectos pueden evitarse con medidas sencillas y de uso común en la construcción: la aplicación de pinturas, recubrimientos y revestimientos, etc.

En lugares cerrados, la proporción de rayos ultravioletas en la luz es tan escasa que no llega a ocasionar daños en el poliestireno expandido, esto limita que la consideración de la radiación ultravioleta en la construcción se puede despreciar en la mayoría de casos.

Tabla IV. **Características físicas del poliestireno expandido**

Resistencia	Unidad	Densidad (kg/m ³)	Densidad (kg/m ³)
		20	32
Densidad mínima	kg/m ³	18	32
Densidad nominal	kg/m ³	20	35
Espesor mínimo	Mm	20	20
Resistencia a la compresión	kg/cm ²	0,0001	0,000255
Resistencia a la flexión	kg/cm ²	0,0001	0,000382
Resistencia a la tracción	kg/cm ²	0,000173- 0,000357	0,000428- 0,000591
Resistencia al esfuerzo cortante	kg/cm ²	0,000076	0,000188
Módulo de elasticidad	kg/m ²	0,035-0,071	0,092-0,11
Absorción de agua a 7 días	% vol.	0,5-1,5	0,5-1,5
Absorción de agua a 28 días	% vol.	1-3	1-3
Resistencia a la difusión de vapor de agua	1	30-50	60-120

Fuente: NOVIDESA. *Boletín técnico número 4*. p. 20.

3.4. Propiedades químicas

El poliestireno expandido demuestra una buena resistencia a la mayoría de los materiales de uso común en la construcción, como el cemento, la cal, el

yeso, las mezclas y los elementos constructivos obtenidos a base de estos aglomerantes.

Hay que resaltar que el material es atacado por los solventes aromáticos cuando se trata de la aplicación de adhesivos, pinturas, solventes y desmoldantes a base de aceites, de productos derivados del alquitrán, de agentes fluidificantes así como de vapores concentrados de estas sustancias tan usuales en la construcción. En la tabla se detalla más información acerca de la estabilidad química del poliestireno expandido.

Tabla V. **Estabilidad química del poliestireno expandido**

Sustancia activa	Estabilidad
Solución salina/agua de mar	Estable: el poliestireno expandido no se destruye con una acción prolongada.
Lejías	Estable: el poliestireno expandido no se destruye con una acción prolongada.
Ácidos diluidos	Estable: el poliestireno expandido no se destruye con una acción prolongada.
Ácido clorhídrico (al 35 %), ácido nítrico (al 50 %)	Estable: el poliestireno expandido no se destruye con una acción prolongada.
Ácidos concentrados sin agua al 100 %	No estable: el poliestireno expandido se contrae o se disuelve.
Disolventes orgánicos (acetona, esteres, etc.)	No estable: el poliestireno expandido se contrae o se disuelve.
Aceite de parafina, vaselina	Relativamente estable: en una acción prolongada, el poliestireno expandido puede contraerse o ser atacada su superficie.
Aceite diésel	No estable: el poliestireno expandido se contrae o disuelve.
Carburantes	No estable: el poliestireno expandido se contrae o disuelve.
Alcoholes (metanol, etanol)	Estable: el poliestireno expandido no se destruye con una acción prolongada.
Aceites de silicona	Relativamente estable: en una acción prolongada, el poliestireno expandido puede contraerse o ser atacada su superficie.

Fuente: ARRIOLA, Enma. *Evaluación técnica del poliestireno expandido*. p. 13.

3.5. Propiedades biológicas

El poliestireno expandido no constituye sustrato nutritivo alguno para los microorganismos. Es imputrescible y no enmohece. No obstante, un fuerte ensuciamiento, en presencia de condiciones especiales, puede dar lugar a la formación de microorganismos. En este caso, solamente sirve de portador, sin participar en el proceso biológico. Las bacterias del suelo tampoco atacan al material. El poliestireno expandido desprovisto de protecciones es susceptible a daños ocasionales por la acción de animales roedores.

3.6. Usos en la construcción

La popularidad del poliestireno expandido para usos constructivos se encuentra en un constante crecimiento; se amplía cada vez su utilización dentro de las obras de la ingeniería civil de manera significativa gracias a las propiedades de maleabilidad y aislación térmica, de la misma manera se aprovecha el poco peso que este agrega en las construcciones.

Las aplicaciones que encuentra en la construcción están relacionadas con las características como el aislamiento térmico y acústico. Ya sea por ahorro de energía o por confort, el poliestireno expandido posee características que cumplen muy bien esas funciones.

Actualmente, en los países de clima templado y tropical existe la tendencia a construir bajo medidas eficientes de aislamiento térmico ya que el gasto energético para el acondicionamiento de edificios en las temporadas cálidas puede ser equivalente o aún mayor que el gasto energético para la calefacción en invierno.

La construcción actual y futura se caracteriza por las exigencias de ahorro energético, y protección contra el ruido y el medio ambiente. El poliestireno expandido incorpora múltiples soluciones en los sistemas constructivos, tales como aislamiento de fachadas, cubiertas, etc.

Las ventajas de utilizar poliestireno expandido en la construcción:

- Proporciona aislamiento térmico.
- Mejora el rendimiento del concreto.
- Proporciona un importante ahorro en acero y hormigón, en pilares y cimientos.
- Mejor fraguado del hormigón ya que el poliestireno expandido prácticamente no absorbe humedad.

Las placas y paneles de aislamiento termoacústico, casetones, bovedillas, se pueden utilizar como material aislante alrededor de cualquier construcción, ya sea en el techo, en la fachada o como aislamiento perimétrico en la zona del sótano.

Las cualidades y propiedades del poliestireno expandido en la construcción son:

- Elevada capacidad de aislamiento térmico
- Resistencia mecánica
- Aislamiento acústico
- Casi no absorbe el agua
- Resistencia a la difusión del vapor de agua
- Es ligero
- Muy estable frente a la temperatura

La utilización del poliestireno expandido en la construcción contribuye de manera importante a llevar a la práctica económicamente el concepto de las construcciones de baja energía.

3.6.1. Morteros livianos

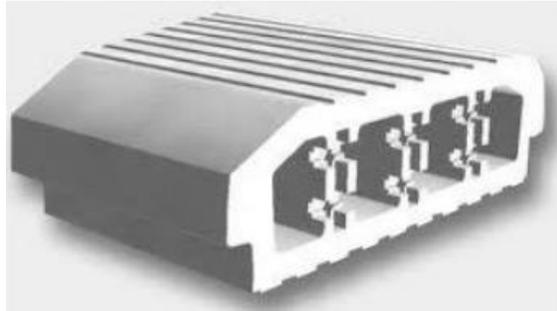
El poliestireno expandido, puede emplearse dentro de las dosificaciones de concretos y morteros, en forma de perlas; dentro de las mezclas realiza una función de aligerante lo cual es conveniente en países como Guatemala debido a las amenazas sísmicas que se encuentra latente el país; la reducción de peso en una estructura que contribuye en gran proporción a inhibir las sollicitaciones inducidas por un sismo.

3.6.2. Bovedillas

Son insumos modernos y versátiles para conformar elementos estructurales livianos en el campo de la construcción, reduciendo carga muerta de las estructuras; algo que es demasiado necesario en regiones con actividades sísmicas frecuentes como de Guatemala que tiene una zona sísmica cuatro, la más vulnerable a sismo de gran magnitud.

Las ventajas que aportan y la facilidad de colocación sin riesgo alguno para los operarios y además de ser una eficiente alternativa para aliviar las losas dentro de las edificaciones y que por su forma cumplen la función de cubiertas aportando a la losa sus relevante condiciones de aislación termo-acústica han hecho de este un producto cuya aceptación es cada vez mayor.

Figura 6. **Bovedilla de poliestireno expandido**



Fuente: *Proyecto concreto aligerado poliestireno.*

<http://www.basf.cl/aislapol/productos/bovedillas/index.html>. Consulta: 25 de octubre de 2015.

3.6.3. Muros

El poliestireno expandido puede utilizarse en la construcción de muros divisorios en interiores y exteriores, aprovechando las ventajas de aislamiento térmico y acústico; uno de los grandes beneficios que aporta este sistema de muros es la facilidad de instalación debido a que es bastante sencillo y es una construcción limpia.

El gran problema de este tipo de muro es que solo pueden ser utilizados en edificaciones de dos pisos cuando son muros estructurales; cuando son muros exclusivamente divisorios su utilización no tiene limitantes.

Otra forma de elaboración de muros utilizando el poliestireno expandido es con la implementación de bloques de este material que es un sistema de encofrado perdido de alta densidad que permite la construcción de muros de concreto armado fácil y rápido, gracias a la propiedad del poliestireno expandido de su casi nula absorción de agua, se logra que el concreto obtenga la resistencia de casi 50 % más de lo esperado.

4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1. Análisis de información

Se realizó el análisis de toda la información obtenida en la investigación la cual sirvió para establecer la base teórica y el procedimiento a seguir durante el desarrollo experimental con el fin de obtener los resultados requeridos.

4.2. Dotación del recurso

Se realizó una investigación de campo sobre los proveedores que comercializan el poliestireno expandido en forma de esferas en Guatemala; esta investigación permitió determinar que son muy pocos proveedores que tienen este recurso, la mayoría comercializa el poliestireno expandido para otros usos: empaque de alimentos, empaque de muebles, empaque de herramientas, etc.

La investigación proporcionó información acerca del poliestireno expandido ideal para ser utilizado como aligerante de concreto; este poliestireno expandido debe ser en forma de esferas y con un diámetro mínimo de 2 mm; la dotación del recurso se llevó a cabo por medio de proveedores locales con las características técnicas requeridas.

Figura 7. **Dotación del poliestireno expandido**



Fuente: elaboración propia.

4.3. Preparación del recurso

La preparación del recurso se llevó a cabo mediante la inspección visual de las perlas de poliestireno expandido la cual se encontró libre de cualquier material perjudicial para el desempeño del diseño de mezcla. Dado que el poliestireno expandido se utilizó como lo proporcionó el proveedor no se requirió de ninguna preparación especial.

4.4. Caracterización del poliestireno expandido

De acuerdo a las necesidades se obtienen una gran cantidad de densidades de perla en su manufactura dadas sus excelentes propiedades de resistencia térmica y eléctrica, de ligereza y flotabilidad, amortiguamiento y baja

absorción de agua. Debido a estas propiedades, las perlas se utilizan extensamente en la elaboración de concretos y morteros aligerados de muy buena resistencia estructural, con propiedades térmicas mejoradas, de bajo costo y altos rendimientos.

4.5. Evaluaciones preliminares

4.5.1. Evaluación de calidad de las perlas de poliestireno expandido

El control de calidad de las perlas de poliestireno expandido se realizó en la planta de producción del proveedor. Entre los ensayos que se realizan para la evaluación y control de calidad de las perlas de poliestireno son:

- Contracción inicial y posterior de bloques y planchas de espuma rígida.
- Contracción inicial y posterior de planchas de espuma rígida producidas en máquinas automáticas.
- Resistencia química de la espuma rígida.
- Resistencia de la espuma rígida a los parásitos animales y vegetales.
- Resistencia a la compresión de espuma rígida.

4.5.2. Evaluación del agregado fino

Para el control de calidad y la evaluación del agregado fino utilizado en el diseño de mezclas de los bloques de concreto clase A patrón y el diseño de mezcla para el bloque de concreto clase A con adición de poliestireno expandido, se realizaron los ensayos siguientes: análisis granulométrico de los agregados finos y gruesos ASTM C-136 y COGUANOR NTG 41010 h1, determinación de la materia orgánica en los agregados finos para concreto

ASTM C-40 y COGUANOR NTG 41010 h4, determinación de la densidad relativa y absorción de agua para el agregado fino ASTM C-128 y COGUANOR 41010 h9.

- Procedimiento utilizado para el ensayo de análisis granulométrico de los agregados finos y gruesos ASTM-136.
 - Se tomó una muestra de 500 g.
 - Se colocó en el horno a una temperatura de 100 °C, posteriormente se colocó en un recipiente metálico.
 - Se pesó la muestra seca.
 - Para el análisis granulométrico se seleccionaron los tamices 3/8", núm. 4, núm. 8, núm. 16, núm. 30, núm. 50, núm. 100, núm. 200 y fondo.
 - Se colocó la muestra de agregado fino en los tamices.
 - El paquete de tamices se colocó en un agitador mecánico durante 15 minutos.
 - Después se separó cada tamiz y se tomaron los datos correspondientes.

Figura 8. **Equipo utilizado para el análisis granulométrico**



Fuente: elaboración propia.

- Procedimiento utilizado para el ensayo de determinación de la densidad relativa y absorción de agua para el agregado fino ASTM C-128.
 - Se tomó una muestra de 500 g.
 - Se saturó la muestra durante un periodo de 24 horas.
 - Se decantó el agua utilizada para su saturación y se secó al aire en recipiente metálico.
 - Se realizó el ensayo de humedad superficial.
 - El procedimiento del ensayo de humedad se realizó varias veces hasta que se encontró el punto de masa saturada de superficie seca.
 - Se llenó parcialmente el picnómetro con agua y se introdujo la muestra saturada de superficie seca.

- Manualmente, se agitó el picnómetro para eliminar las burbujas de aire.
- Después, se determinó la masa total del picnómetro, la muestra del agregado y agua.
- Se secó la muestra ensayo al horno hasta obtener una masa constante.
- Se determinó la masa del picnómetro llenado hasta su capacidad calibrada.
- Se hicieron los cálculos correspondientes.

Figura 9. **Equipo utilizado para la determinación de la densidad relativa y absorción de agua para el agregado fino**



Fuente: elaboración propia.

- Procedimiento utilizado para el ensayo de determinación de la materia orgánica en los agregados finos para concreto ASTM C-40.
 - Se tomó una muestra de 500 g.

- Se llenó el recipiente de vidrio con 150 ml de agua con la muestra del agregado fino.
- Se agregó la solución de hidróxido de sodio hasta que se pudo observar que el volumen del agregado fino y el líquido fue de 200 ml aproximadamente.
- Se agitó el recipiente y luego se cerró la botella.
- Se dejó reposar durante 24 horas.

Figura 10. **Ensayo para la determinación de materia orgánica en los agregados finos ASTM C-40**



Fuente: elaboración propia.

4.5.3. Evaluación del agregado grueso

Para el control de calidad y la evaluación del agregado grueso utilizado en el diseño de mezclas tipo A patrón y el diseño de mezcla tipo A con adición de poliestireno expandido se realizaron los ensayos siguientes:

- Procedimiento utilizado para el ensayo de análisis granulométrico de los agregados finos y gruesos ASTM-136.
 - El tamaño de agregado máximo nominal utilizado es de 3/8" por lo que la muestra para el ensayo es de un 1 kg.
 - Se colocó en el horno a una temperatura de 100 C, posteriormente se colocó en un recipiente metálico
 - Se pesó la muestra seca.
 - Para el análisis se seleccionaron los tamices 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", núm. 4 y fondo.
 - Se depositó la muestra de agregado grueso en los tamices.
 - El paquete de tamices se colocó en un agitador mecánico durante 15 minutos.
 - Después se separó cada tamiz y se tomaron los datos correspondientes.

4.5.4. Evaluación del cemento

El cemento que se utilizó para la fabricación de bloques de concreto y bloques de concreto con adición de poliestireno expandido fue el cemento tipo III de alta resistencia inicial; se requiere de un cemento con alta resistencia inicial dado que regularmente los elementos prefabricados son despachados, transportados y utilizados en un término de 24 horas posterior a su fabricación.

Este cemento alcanza alta resistencia mecánica inicial, diseñado para desencofrado rápido en procesos industriales, cumple con la ASTM C1157.

Figura 11. **Cemento tipo III**



Fuente: elaboración propia.

4.6. Diseño de mezcla para la elaboración de bloques de concreto con adición de poliestireno expandido

El diseño de mezcla base utilizada para la fabricación de bloques normales de concreto fue diseñada para alcanzar una resistencia a la compresión $f'c$ de 133 kg/cm^2 a los 28 días, esta resistencia de diseño a la compresión corresponde al bloque clase A según la COGUANOR NTG 41054 y su uso es estructural. El diseño de mezcla para la fabricación de bloques de concreto fueron diseñados para no poseer trabajabilidad por lo que su asentamiento no se puede medir, esto se hace así ya que la compactación es realizada por una prensa hidráulica que al aplicarle la fuerza hace que la mezcla sea compactada y acomodada en el molde.

Para el diseño de mezcla patrón se utilizó una relación de agua/cemento de 0,61; el agua es agregada en la mezcladora de forma electrónica mediante el tablero de controles; los ajustes por humedad los realiza el operador de la máquina mezcladora, este ajuste se hace de forma empírica ya que no existe

ningún parámetro técnico-científico que indique la cantidad de agua necesaria para hacer los ajustes. De acuerdo a las consideraciones anteriores, se obtuvo una proporción volumétrica aproximada de 1:8.87:1.01:0.61 para el diseño de mezcla patrón.

Tabla VI. **Dosificación del diseño de mezcla base para 72 unidades**

Cemento (kg)	Arena 0-1/4" (kg)	Piedrín 3/8" (kg)	Agua (kg)	Resistencia esperada a 28 días (kg/cm ²)
159	1410	157	97	133

Fuente: elaboración propia.

Siguiendo los parámetros del análisis, para el diseño de la mezcla patrón con adición de poliestireno expandido se realizaron varias pruebas con diferentes cantidades de poliestireno expandido, esto con el objetivo de evaluar el comportamiento que desarrolla el poliestireno expandido con los componentes del concreto; las dosificaciones se muestran en la siguiente tabla.

Tabla VII. **Dosificación del diseño de mezcla base con adición de poliestireno expandido para 72 unidades**

No. de prueba	Cemento (kg)	Arena 0-1/4" (kg)	Piedrín (kg)	Agua (kg)	Poliestireno expandido (kg)
1	159	1410	157	97	0,5
2	159	1410	157	97	1
3	159	1410	157	97	1,5

Fuente: elaboración propia.

La cantidad de poliestireno expandido agregada a la mezcla se determinó utilizando varias adiciones de poliestireno expandido en el diseño patrón, se consideró como óptima la proporción en la que se perdiera peso y no se redujera de manera significativa la resistencia; el análisis del comportamiento de las diferentes cantidades de poliestireno expandido se presentan en la sección 4.2.

4.7. Fabricación de bloques de concreto con adición de poliestireno expandido

La investigación, diseño y fabricación de los bloques de concreto con adición de poliestireno se realizó en las instalaciones de una empresa dedicada a la fabricación de bloques de concreto.

Figura 12. **Planta de producción de bloques de concreto**



Fuente: elaboración propia.

4.7.1. Tiempo de mezclado

El mezclado de los materiales se realizó utilizando la máquina mezcladora que se muestra en la figura 13, el procedimiento realizado se resume de la siguiente manera:

La dosificación de los materiales se ingresó de forma electrónica en el tablero de controles como se muestra en la figura 14, al iniciar el proceso, las bandas transportadoras comienzan a transportar los agregados a la maquina mezcladora, introduciendo los materiales en el siguiente orden: cemento, agregado grueso, agregado fino, agua y poliestireno expandido, este último, se ingresa a la máquina mezcladora de forma manual; el tiempo de mezclado fue de aproximadamente 2 minutos con el objeto de conseguir una mezcla homogénea.

Luego de obtener una mezcla homogénea, se inició el transporte a la máquina compactadora.

Figura 13. **Máquina mezcladora**



Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Tablero de controles**



Fuente: elaboración propia.

4.7.2. **Vibro-compactación**

Al llegar la mezcla a la máquina compactadora se vacía en los moldes; luego se realiza una vibración para el llenado de los mismos; posteriormente se inicia la compresión del material; esto se realiza con una presión de 100 PSI durante 3 segundos, ver figura 15.

Figura 15. **Vibro-compactación del material en los moldes**



Fuente: elaboración propia.

4.7.3. Temperatura y tiempo en el horno

Luego del proceso de vibro-compactación de los bloques de concreto con adición de poliestireno expandido, estos son llevados a los túneles de curado ver figura 16; la temperatura de estos túneles es de 40 grados centígrados, permanecen en el proceso de curado durante un tiempo igual a 24 horas antes de sacarlos a los patios de secado a la intemperie.

Figura 16. **Túneles de curado**



Fuente: elaboración propia.

4.7.4. Tiempo de sacado a la intemperie

El tiempo en el cual los bloques se mantienen en el patio de secado a la intemperie depende directamente del orden de ensayos a compresión que se realizarán normalmente se ensayan a las siguientes edades: 1 día, 3 días, 7 días, 14 días y 28 días o cuando así lo requiera el cliente.

Figura 17. **Apilamiento de bloques a la intemperie**



Fuente: elaboración propia.

4.8. Evaluación de los bloques con adición de poliestireno expandido

Se utilizó el procedimiento que establece la norma COGUANOR NTG 41055 h1 para la determinación de la resistencia a la compresión de bloques de concreto este ensayo está diseñado para la evaluación de la capacidad de carga a la compresión de un bloque hueco de concreto; normalmente en el mercado se utiliza la resistencia en el área bruta para la clasificación del bloque; en este trabajo de investigación se utilizará el área neta.

Figura 18. **Bloques de concreto y bloques de concreto con adición de poliestireno expandido**



Fuente: elaboración propia.

4.8.1. Toma de pesos y dimensiones

Para la evaluación de las características físicas del bloque de concreto con adición de poliestireno expandido y el bloque de concreto normal, se determinó el peso de cada unidad utilizando una balanza electrónica y las dimensiones se tomaron según las especificaciones de la norma COGUANOR NTG 41054.

Las especificaciones de bloques huecos de concreto para muros indican varias dimensiones; para esta investigación se fabricaron bloques con medidas principales reales de 19 cm ancho, 19 cm de alto y 39 cm de largo.

El procedimiento para la toma de dimensiones de cada uno de los bloques a ensayar fue el siguiente:

- Se realizó con una cinta métrica graduada en milímetros.
- Los bloques se colocaron en una plancha de acero plana.
- Para medir el ancho se mide la distancia exterior entre las dos caras principales del bloque, a la mitad del largo del bloque, en las superficies del fondo y la parte superior del bloque.
- Para medir el alto se mide el fondo a la parte superior del bloque a la mitad del largo, en cada cara principal del bloque.
- Para medir la longitud se mide a la mitad de la altura, en cada cara principal del bloque.
- Se procedió a la medida del espesor de las paredes y tabiques del bloque.
- Luego, se tomó el peso de cada bloque.

Figura 19. **Toma de pesos y dimensiones de los bloques**



Fuente: elaboración propia.

4.8.2. Preparación para el ensayo a compresión

Se realizó el muestreo tomando 5 unidades para el ensayo; se revisó que cada uno de los bloques estuviera libre de astilladuras, grietas, rajaduras y otros defectos que puedan afectar la resistencia mecánica, la durabilidad o que puedan interferir en la colocación adecuada de los bloques en la construcción; ver figura 20.

Figura 20. **Nivelación de bloques de concreto**



Fuente: elaboración propia.

4.8.3. Ensayo de carga a compresión

Se llevó a cabo el ensayo a compresión de los bloques de concreto aplicando la carga de forma uniforme en toda la sección del bloque; el ensayo de cada bloque duró un promedio de 1 minuto con 35 segundos, este tiempo cumple con lo indicado en la norma COGUANOR NTG 41055 h1.

Para realizar los ensayos se utilizó la máquina para ensayar bloques de concreto marca Humboldt con una capacidad de carga de hasta 270 000 lb.

Figura 21. **Ensayo de carga a compresión**



Fuente: elaboración propia.

5. RESULTADOS

5.1. Caracterización del poliestireno expandido

Se muestran los resultados de las actividades realizadas en la caracterización física y determinación de propiedades mecánicas del poliestireno expandido.

5.1.1. Determinación de las propiedades mecánicas de los bloques de concreto clase A y bloques de concreto con adición de poliestireno expandido

Se determinó la propiedad mecánica bajo carga de compresión de 5 bloques de concreto clase A y bloques de concreto clase A con adición de poliestireno expandido a las edades de 1 día, 3 días, 7 días, 14 días y 28 días; los resultados se muestran en la sección 4.2.3.

5.1.2. Características físicas de los bloques de concreto clase A con adición de poliestireno expandido

El poliestireno expandido es un material plástico super ligero, con densidades que en Guatemala se pueden encontrar desde 10 kg/cm^3 hasta 25 kg/cm^3 , con mucha importancia en el sector del envase y la construcción. Generalmente, el color del poliestireno expandido es blanco y para el uso en el concreto o prefabricados de concreto se utiliza esferas con diámetros que van desde 1 mm hasta 5 mm; la elección del diámetro de las esferas de poliestireno

expandido depende del uso que se le vaya a dar, para esta investigación se utilizó esferas de 2 mm de diámetro.

Cuando se utiliza para aligerar elementos prefabricados de concreto se tiene que tomar en consideración varios factores como la cantidad de poliestireno expandido adicionada al diseño de mezcla, ya que mientras se aumenta la dosificación de poliestireno expandido el efecto que tiene este en el diseño de la mezcla es la de reducir su resistencia nominal considerablemente, haciendo un prefabricado muy ligero pero pobre en resistencia.

Las características físicas de los bloques de concreto y bloques de concreto con adición de poliestireno expandido como el peso, las dimensiones y la absorción se presentan en las sección 5.2.1, 5.2.2 y 5.2.4 respectivamente.

5.2. De las pruebas previas

Se presentan los resultados obtenidos en cada ensayo que se realizó durante la investigación. Estos fueron utilizados para el apoyo y orientación del diseño definitivo del elemento.

Tabla VIII. **Resultados del diseño de la mezcla base**

No.	Edad (días)	Peso (kg)	f' m (kg/cm ²)
1	28	17,89	156,91

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Resultados del diseño de la mezcla patrón con adición de poliestireno expandido**

No. De prueba	Edad (días)	Poliestireno expandido (kg)	Peso (kg)	f' m (kg/cm ²)	% de pérdida de f' c
1	28	0,5	17,32	117,68	25
2	28	1	16,99	101,99	35
3	28	1,5	16,66	54,92	65

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Diseño de la mezcla base con poliestireno expandido y aumento de cemento**

No.	Edad (días)	Poliestireno expandido (kg)	Peso (kg)	f' m (kg/cm ²)	Reducción A/C	% aumento de cemento respecto al diseño base
1	28	1,5	16,34	76,50	0,48	39 %
2	28	1,5	16,40	105,03	0,40	77 %
3	28	1,5	16,44	114,01	0,34	116 %
4	28	1,5	16,51	130,55	0,29	155 %
5	28	1,5	16,58	149,15	0,26	194 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Dosificación óptima para la fabricación de bloques de concreto con adición de poliestireno expandido para 72 unidades**

Cemento (kg)	Arena 0-1/4" (kg)	Piedrín 3/8" (kg)	Agua (kg)	Poliestireno expandido (kg)	Resistencia esperada a 28 días (kg/cm ²)
372	1 410	157	97	1,5	133

Fuente: elaboración propia.

5.2.1. Pesos de las muestras

Tabla XII. **Peso de las muestras a 1 día de edad**

No.	Peso (kg)	Promedio (kg)
Bloques de concreto diseño de la mezcla base		
1	17,92	17,89
2	17,93	
3	17,85	
4	17,88	
5	17,86	
Bloques de concreto con adición de poliestireno expandido		
1	17,04	17,04
2	17,10	
3	17,05	
4	16,98	
5	17,02	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Peso de las muestras a 3 días de edad**

No.	Peso (kg)	Promedio (kg)
Bloques de concreto diseño de la mezcla base		
1	17,78	17,81
2	17,88	
3	17,79	
4	17,76	
5	17,83	
Bloques de concreto con adición de poliestireno expandido		
1	16,66	16,43
2	16,21	
3	16,45	
4	16,32	
5	16,55	

Fuente: elaboración propia

Tabla XIV. **Peso de las muestras a 7 días de edad**

No.	Peso (kg)	Promedio (kg)
Bloques de concreto diseño de la mezcla base		
1	17,72	17,66
2	17,66	
3	17,72	
4	17,54	
5	17,64	
Bloques de concreto con adición de poliestireno expandido		
1	16,62	16,48
2	16,33	
3	16,55	
4	16,42	
5	16,50	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Peso de las muestras a 14 días de edad**

No.	Peso (kg)	Promedio (kg)
Bloques de concreto diseño de la mezcla base		
1	17,65	17,64
2	17,80	
3	17,56	
4	17,74	
5	17,45	
Bloques de concreto con adición de poliestireno expandido		
1	16,54	16,61
2	16,39	
3	16,80	
4	16,60	
5	16,70	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Peso de las muestras a 28 días de edad**

No.	Peso (kg)	Promedio (kg)
Bloques de concreto diseño de la mezcla base		
1	17,61	17,65
2	17,77	
3	17,60	
4	17,71	
5	17,53	
Bloques de concreto con adición de poliestireno expandido		
1	16,59	16,54
2	16,23	
3	16,84	
4	16,66	
5	16,37	

Fuente: elaboración propia.

5.2.2. Dimensiones de las muestras

Tabla XVII. **Dimensiones de las muestras ensayadas**

No.	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
1	390	190	190
2	390	190	190
3	390	190	190
4	390	190	190
5	390	190	190

Fuente: elaboración propia.

5.2.3. Resistencia a la compresión

Tabla XVIII. Resultados de ensayo a compresión a 1 día de edad

No.	Carga (kg)	Área neta (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/m ²)
Bloques de concreto diseño de la mezcla base				
1	31 234	390	80,09	86,68
2	33 398	390	85,64	
3	36 409	390	93,36	
4	36 109	390	92,59	
5	31 863	390	81,70	
Bloques de concreto con adición de poliestireno expandido				
1	28 340	390	72,66	74,46
2	26 745	390	68,58	
3	33 577	390	86,09	
4	27 964	390	71,70	
5	28 577	390	73,27	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. Resultados de ensayo a compresión a 3 días de edad

No.	Carga (kg)	Área neta (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/m ²)
Bloques de concreto diseño de la mezcla base				
1	50 820	390	130,31	128,66
2	55 575	390	142,50	
3	40 755	390	104,50	
4	51 129	390	131,10	
5	52 611	390	134,90	
Bloques de concreto con adición de poliestireno expandido				
1	39 168	390	100,43	97,60
2	32 627	390	83,66	
3	35 774	390	91,77	
4	35 588	390	91,25	
5	47 138	390	120,87	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Resultados de ensayo a compresión a 7 días de edad**

No.	Carga (Kg)	Área neta (cm²)	Resistencia (kg/cm²)	Promedio (kg/cm²)
Bloques de concreto diseño de la mezcla base				
1	56 798	390	145,63	147,08
2	54 876	390	140,71	
3	59 087	390	151,51	
4	60,165	390	154,27	
5	55 879	390	143,28	
Bloques de concreto con adición de poliestireno expandido				
1	50 190	390	128,70	122,06
2	55 818	390	143,12	
3	45 609	390	116,95	
4	43 136	390	110,61	
5	43 288	390	110,90	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Resultados de ensayo a compresión a 14 días de edad**

No.	Carga (Kg)	Área neta (cm²)	Resistencia (kg/cm²)	Promedio (kg/cm²)
Bloques de concreto diseño de mezcla base				
1	58 765	390	150,68	150,03
2	59 088	390	151,51	
3	59 532	390	152,65	
4	56 256	390	144,25	
5	58 765	390	150,68	
Bloques de concreto con adición de poliestireno expandido				
1	59 928		153,66	128,17
2	48 547		124,48	
3	44 960		115,28	
4	45 808		117,46	
5	50 684		129,95	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Resultados de ensayo a compresión a 28 días**

No.	Carga (Kg)	Área neta (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
Bloques de concreto diseño de la mezcla base				
1	58 765	390	150,68	150,03
2	59 088	390	151,51	
3	59 532	390	152,65	
4	56 256	390	144,25	
5	58 765	390	150,68	
Bloques de concreto con adición de poliestireno expandido				
1	59 928	390	153,66	128,17
2	48 547	390	124,48	
3	44 960	390	115,28	
4	45 808	390	117,46	
5	50 684	390	129,95	

Fuente: elaboración propia.

5.2.4. **Determinación de la absorción**

Tabla XXIII. **Resultados de absorción en % de masa**

No.	Masa saturada de superficie seca (kg)	Masa seca al horno (kg)	% de absorción	Promedio (%)
Bloques de concreto diseño de mezcla base				
1	18,40	17,30	6,36	5,82
2	18,05	17,15	5,25	
3	18,10	17,10	5,85	
Bloques de concreto con adición de poliestireno expandido				
1	16,95	15,65	8,31	8,76
2	16,70	15,40	8,44	
3	17,03	15,55	9,52	

Fuente: elaboración propia.

6. ANALISIS DE RESULTADOS

A continuación se presenta el análisis de los resultados obtenidos de la de los ensayos; se realiza con los cálculos correspondientes según las normas utilizadas.

6.1. Características del poliestireno expandido

Debido a su muy baja densidad el poliestireno expandido al ser utilizado como aligerante en prefabricados de concreto funciona muy bien ya que reduce el peso pero con la desventaja que también reduce la resistencia mecánica a compresión en porcentajes que van desde el 25 % hasta el 80 %, según la cantidad agregada.

Una de las características que se pudo observar al adicionar el poliestireno expandido a la mezcla base es que no demanda agua; las perlas de poliestireno expandido presentaron permeabilidad por lo que el agua de diseño con cada adición de poliestireno expandido no se vio afectada; la desventaja que se presenta al utilizar el poliestireno expandido es que debido a su baja densidad tiende a salir expulsado por las corrientes de aire por lo que hay que tener cuidado al adicionarlo a la mezcla base.

El poliestireno expandido no presenta ninguna reacción adversa al diseño de la mezcla base, por lo cual experimentalmente está comprobado que la trabajabilidad de estos dos materiales se puede llevar a cabo sin ningún problema.

6.2. Ensayos preliminares

Se presenta un análisis de los resultados de cada uno de los ensayos que se realizaron previo a la obtención del diseño de mezclas del bloque de concreto con adición de poliestireno expandido.

Se realizó un diseño de la mezcla base en el cual sus características físicas y propiedades mecánicas servirán como parámetro de comparación con el diseño de la mezcla base con adición de poliestireno expandido, el diseño de la mezcla base se realizó para una resistencia de 133 kg/cm^2 , a la edad de 28 días y según los resultados de la tabla VIII se obtuvieron a los 28 días una resistencia de $156,91 \text{ kg/cm}^2$ lo que representa un 117 % sobre el diseño de mezcla base.

Los datos obtenidos en la tabla IX son el resultado de pruebas que se realizaron con distintas dosificaciones de poliestireno expandido; se realizaron con el objetivo de observar y documentar el efecto que tienen las esferas de poliestireno expandido en el diseño de la mezcla base en lo que se refiere a resistencia y peso; se definió como 4 gramos por kilogramo de cemento como cantidad de poliestireno óptima.

Si se observa en la tabla IX en la prueba núm. 3, este bloque con 1,5 kg de poliestireno expandido en lo que se refiere a la resistencia a la compresión no cumple con los estándares establecidos en la norma COGUANOR NTG 41054 ya que se está diseñando un bloque clase A y este tiene una resistencia a la compresión de 133 kg/cm^2 , por lo cual es necesario aumentar su resistencia a la compresión mediante la disminución de su relación A/C en el diseño de la mezcla base, para que pueda compensar la pérdida de resistencia

que provoca la adición de poliestireno expandido; estos resultados se presentan en la tabla X.

Una vez compensada la resistencia pérdida con la adición de las esferas de poliestireno expandido se procedió al proporcionamiento del diseño de la mezcla con adición de poliestireno expandido, ver tabla XI.

Ambos diseños de mezcla estan hechos para que cumplan con la norma COGUANOR NTG 41054 en lo referente a la clasificación, designación y usos para que puedan ser clasificados como clase A luego, se puede realizar una comparación de sus características físicas y mecánicas entre un bloque clase A y un bloque clase A con adición de poliestireno expandido.

6.3. Peso de los bloques

Correspondiente al peso que se reduce por cada adición de poliestireno expandido se determinó que se sigue un patrón de 0,33 kg por cada 0,5 kg de poliestireno expandido respecto al diseño de la mezcla base; esto se puede observar en los datos que se obtuvieron de la tabla IX, con 1,5 kg de poliestireno expandido se mantiene un peso constante.

En lo referente al peso de los bloques de ambos diseños de mezclas se puede observar en la tabla XVI que la diferencia es de aproximadamente 1 kg entre ambos bloques, esto nos indica que el efecto que tiene 1,5 kg de poliestireno expandido es la de reducir su peso en 1 kg respecto al diseño de mezcla base, esto sería una 6 % de su peso aproximadamente.

6.4. Resistencia a la compresión

Según los resultados que se muestran en la tabla IX, por cada adición de 0,5 kg de poliestireno expandido, se reduce en un 25 % la resistencia del elemento respecto de la resistencia del diseño de la mezcla base, con 1 kg de poliestireno expandido se reduce en un 35 % la resistencia del elemento respecto a la resistencia del diseño de la mezcla base, con 1,5 kg de poliestireno expandido, se reduce en un 65 % la resistencia del elemento respecto de la resistencia del diseño de mezcla base; se observó que con la tercera adición de poliestireno expandido se reduce la resistencia en más de un 50 % por lo que se determinó que este sería la cantidad de poliestireno expandido óptima para realizar el diseño de mezclas con adición de poliestireno expandido.

De acuerdo con los resultados de los ensayos realizados, se pudo observar que la adición de poliestireno expandido redujo sustancialmente la resistencia a la compresión esperada.

Debido a que el diseño de la mezcla base alcanzó a los 28 días un 117 % de la resistencia esperada, se puede establecer dicho porcentaje como un margen de tolerancia para el diseño de mezcla base con adición de poliestireno expandido, lo que estableció una resistencia esperada para el diseño de la mezcla base con adición de poliestireno expandido de 156 kg/cm^2 . Establecido esto se procedió a comparar los resultados obtenidos de los ensayos a 28 días de ambos diseños de mezclas; se concluyó que el diseño de mezcla base con adición de poliestireno expandido alcanzó un 110 % de la resistencia esperada que equivale a 146 kg/cm^2 , cabe mencionar que el diseño de la mezcla base con adición de poliestireno expandido contiene una dosificación de 194 % de cemento respecto al diseño de la mezcla base.

CONCLUSIONES

1. Fue posible observar que la adición de poliestireno expandido redujo la resistencia a la compresión del bloque; la pérdida de resistencia a la compresión es inversamente proporcional al aumento de la dosificación de dicho material.
2. La diferencia de peso entre ambos bloques a 28 días fue de 1,11 kg, de esto se puede concluir que sí se reduce la carga muerta aunque no de forma significativa.
3. La dosificación óptima que permitió una disminución de peso en el bloque con adición de poliestireno expandido y que permitió cumplir con los requerimientos de un bloque clase A fue la de 1,5 kg de poliestireno expandido y un aumento del 194 % de cemento respecto al diseño de la mezcla base, manteniendo constante la dosificación de los agregados y el agua en ambos diseños.
4. En lo que se refiere a la absorción, ambos bloques cumplen con los requerimientos que indican las normas; en el bloque de concreto normal se obtuvo una absorción de 5,82 % y del bloque de concreto con adición de poliestireno expandido fue de 8,76 %; la diferencia es debido a la adición de poliestireno expandido ya que este material tiende a retener el agua en su superficie.

5. Por ser un proceso industrial, las dimensiones de los bloques de ambos diseños fue constante en todos los bloques ensayados: 390 mm de largo, 190 mm de ancho y 190 de alto.

RECOMENDACIONES

1. Restringir el uso de poliestireno expandido a elementos no estructurales, al hacer lo contrario, se aumenta de manera muy significativa el costo de producción que hace la estructura antieconómica.
2. Realizar pruebas utilizando aditivos especiales para concreto para determinar que aportes pueden tener estos en combinación con el poliestireno expandido.
3. Variar la dosificación de los agregados de tal forma que se logre optimizar el aporte de estos materiales al diseño de la mezcla en ambos diseños.
4. Realizar pruebas utilizando poliestireno expandido variando sus propiedades físicas y mecánicas como la densidad, absorción y diámetro, de tal forma que se encuentre una combinación óptima que permita la mayor resistencia y menor costo.
5. Al utilizar el poliestireno expandido en mezclas de concreto, es necesario proteger las esferas de poliestireno expandido contra el fuego mediante aditivos especiales para este fin.
6. Realizar ensayos que determinen la adherencia entre los materiales de reciclaje y demás elementos del concreto, para establecer si la

adherencia puede afectar para que este tipo de concreto alcance una mayor resistencia.

BIBLIOGRAFÍA

1. Comisión Guatemalteca de Normas. *Normas COGUANOR: NTG 41055 h1 Determinación de la resistencia a la compresión de bloques huecos de concreto*. Guatemala: Farminton Hills, Michigan. 10 p.
2. _____. *Normas COGUANOR: NTG 41054 Bloques huecos de concreto para muros*. Guatemala: Farminton Hills, Michigan. 14 p.
3. RAMÍREZ GUZMAN, Mauricio Leonel. *Comparación entre el mezclón tradicional y mezclón reforzado con adición de poliestireno expandido*. Guatemala: Santillana, 2012. 41 p.
4. Portland Cement Association. *Diseño y control de mezclas de concreto*. EEUU: Farminton Hills, Michigan, 2004. 103 p.
5. American Concrete Institute. *Requisitos de reglamento para concreto estructural*. Versión en español ACI 318S-011. Guatemala: Farminton Hills, Michigan, 2010. 518 p.
6. NILSON, Arthur. *Diseño de estructuras de concreto*. 12a ed. Colombia: McGraw-Hill, 2011. 28 p.

ANEXOS

Anexo 1. Informes de resultados de las pruebas realizadas en el laboratorio de la compañía de prefabricados MULTIBLOCKS



MULTIBLOCKS S.A.
LOTE 9 SECTOR III, GRANIAS ITALIA, VILLA NUEVA, GUATEMALA.
PBX: 6644-3200

Hoja 1/2

**INFORME DE RESISTENCIA A COMPRESION DE BLOCK LIVIANO Y PESADO
ENSAYO ASTM 140 Y COGUANOR NTG 41055 h1**

INTERESADO: Sergio Estuardo González Pérez, Carnet No. 2011-14521
 PROYECTO: Trabajo de graduación "Comparación de las propiedades mecánicas y características físicas de bloques de concreto y bloques de concreto con adición de poliestireno expandido".
 DIRECCION: 2 Av. 27-52 zona 12. Ciudad de Guatemala, Guatemala.
 MUESTRA: Block Clase A 19X19X39 de 133 kg/cm³ con adición de poliestireno expandido
 FECHA: 17 de junio de 2016

Fecha de Fabricación	Fecha de Rotura	Edad (días)	f'c (kg/cm ³)	Datos de la muestra				Resistencia de la muestra		
				Masa (kg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	% f'c
19/05/2016	20/05/2016	1	133	17.04	390	190	190	28 340	72.66	56%
19/05/2016	20/05/2016	1	133	17.10	390	190	190	26 745	68.58	
19/05/2016	20/05/2016	1	133	17.05	390	190	190	33 577	86.09	
19/05/2016	20/05/2016	1	133	16.98	390	190	190	27 964	71.70	
19/05/2016	20/05/2016	1	133	17.02	390	190	190	28 577	73.27	
19/05/2016	22/05/2016	3	133	16.66	390	190	190	39 168	100.43	73%
19/05/2016	22/05/2016	3	133	16.21	390	190	190	32 627	83.66	
19/05/2016	22/05/2016	3	133	16.45	390	190	190	35 774	91.77	
19/05/2016	22/05/2016	3	133	16.32	390	190	190	35 588	91.25	
19/05/2016	22/05/2016	3	133	16.55	390	190	190	47 138	120.87	
19/05/2016	26/05/2016	7	133	16.42	390	190	190	50 190	128.7	92%
19/05/2016	26/05/2016	7	133	16.33	390	190	190	55 818	143.12	
19/05/2016	26/05/2016	7	133	16.55	390	190	190	45 609	116.95	
19/05/2016	26/05/2016	7	133	16.42	390	190	190	43 136	110.61	
19/05/2016	26/05/2016	7	133	16.50	390	190	190	43 288	110.90	

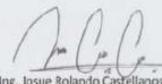
19/05/2016	02/06/2016	14	133	16.54	390	190	190	59 928	153.66	96%
19/05/2016	02/06/2016	14	133	16.39	390	190	190	48 547	124.48	
19/05/2016	02/06/2016	14	133	16.80	390	190	190	44 960	115.28	
19/05/2016	02/06/2016	14	133	16.60	390	190	190	45 808	117.46	
19/05/2016	02/06/2016	14	133	16.70	390	190	190	50 684	129.95	
19/05/2016	16/06/2016	28	133	16.59	390	190	190	59 452	152.44	110%
19/05/2016	16/06/2016	28	133	16.23	390	190	190	59924	153.65	
19/05/2016	16/06/2016	28	133	16.84	390	190	190	61 520	157.74	
19/05/2016	16/06/2016	28	133	16.66	390	190	190	51 686	132.53	
19/05/2016	16/06/2016	28	133	16.37	390	190	190	52 428	134.43	

Hoja 2/2

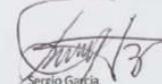
Observaciones: a) Ensayo realizado sobre área neta
 b) Absorción 8.76 %
 c) Dosificación proporcionada por el interesado

ATENTAMENTE

Vo. Bo.



Ing. Josue Rolando Castellanos
Supervisor de Calidad



Sergio Garcia
Responsable del ensayo



Continuación del anexo 1.

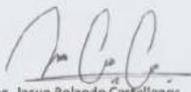
19/05/2016	02/06/2016	14	133	16.54	390	190	190	59 928	153.66	96%
19/05/2016	02/06/2016	14	133	16.39	390	190	190	48 547	124.48	
19/05/2016	02/06/2016	14	133	16.80	390	190	190	44 960	115.28	
19/05/2016	02/06/2016	14	133	16.60	390	190	190	45 808	117.46	
19/05/2016	02/06/2016	14	133	16.70	390	190	190	50 684	129.95	
19/05/2016	16/06/2016	28	133	16.59	390	190	190	59 452	152.44	110%
19/05/2016	16/06/2016	28	133	16.23	390	190	190	59 924	153.65	
19/05/2016	16/06/2016	28	133	16.84	390	190	190	61 520	157.74	
19/05/2016	16/06/2016	28	133	16.66	390	190	190	51 686	132.53	
19/05/2016	16/06/2016	28	133	16.37	390	190	190	52 428	134.43	

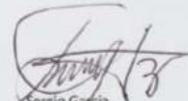
Hoja 2/2

Observaciones: a) Ensayo realizado sobre área neta
b) Absorción 8.76 %
c) Dosificación proporcionada por el interesado

ATENTAMENTE

Va. Bo.


Ing. Josue Rolando Castellanos
Supervisor de Calidad


Sergio Garcia
Responsable del ensayo



MULTIBLOCKS S.A.
LOTE 9 SECTOR III, GRANJAS ITALIA, VILLA NUEVA, GUATEMALA.
PBX: 6644-3200

Hoja 1/2

**INFORME DE RESISTENCIA A COMPRESION DE BLOCK LIVIANO Y PESADO
ENSAYO ASTM 140 Y COGUANOR NTG 41055 h1**

INTERESADO: Sergio Estuardo González Pérez, Carnet No. 2011-14521
PROYECTO: Trabajo de graduación "Comparación de las propiedades mecánicas y características físicas de bloques de concreto y bloques de concreto con adición de poliestireno expandido".
DIRECCION: 2 Av. 27-52 zona 12, Ciudad de Guatemala, Guatemala.
MUESTRA: Block Clase A 19X19X39 de 133 kg/cm²
FECHA: 17 de junio de 2016

Fecha de Fabricación	Fecha de Rotura	Edad (días)	f _c (kg/cm ²)	Datos de la muestra				Resistencia de la muestra		% f _c
				Masa (kg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	
19/05/2016	20/05/2016	1	133	17.92	390	190	190	31 234	80.09	65%
19/05/2016	20/05/2016	1	133	17.93	390	190	190	33 398	85.64	
19/05/2016	20/05/2016	1	133	17.85	390	190	190	36 409	93.36	
19/05/2016	20/05/2016	1	133	17.88	390	190	190	36 109	92.59	
19/05/2016	20/05/2016	1	133	17.86	390	190	190	31 863	81.70	
19/05/2016	22/05/2016	3	133	17.78	390	190	190	50 820	130.31	97%
19/05/2016	22/05/2016	3	133	17.88	390	190	190	55 575	142.50	
19/05/2016	22/05/2016	3	133	17.79	390	190	190	40 755	104.50	
19/05/2016	22/05/2016	3	133	17.76	390	190	190	51 129	131.10	
19/05/2016	22/05/2016	3	133	17.83	390	190	190	52 611	134.90	
19/05/2016	26/05/2016	7	133	17.72	390	190	190	56 798	145.63	111%
19/05/2016	26/05/2016	7	133	17.66	390	190	190	54 876	140.71	
19/05/2016	26/05/2016	7	133	17.72	390	190	190	59 087	151.51	
19/05/2016	26/05/2016	7	133	17.54	390	190	190	60,165	154.27	
19/05/2016	26/05/2016	7	133	17.64	390	190	190	55,879	143.28	

Continuación del anexo 1.

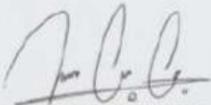
19/05/2016	02/06/2016	14	133	17.65	390	190	190	58 765	150.68	112%
19/05/2016	02/06/2016	14	133	17.80	390	190	190	59 088	151.51	
19/05/2016	02/06/2016	14	133	17.56	390	190	190	59 532	152.65	
19/05/2016	02/06/2016	14	133	17.74	390	190	190	56 256	144.25	
19/05/2016	02/06/2016	14	133	17.45	390	190	190	58 765	150.68	
19/05/2016	16/06/2016	28	133	17.61	390	190	190	61 876	158.66	117%
19/05/2016	16/06/2016	28	133	17.77	390	190	190	60 654	155.52	
19/05/2016	16/06/2016	28	133	17.60	390	190	190	59 234	151.88	
19/05/2016	16/06/2016	28	133	17.71	390	190	190	60 543	155.24	
19/05/2016	16/06/2016	28	133	17.53	390	190	190	63 659	163.23	

Hoja 2/2

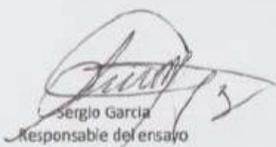
Observaciones: a) Ensayo realizado sobre área neta
b) Absorción 5.82 %
c) Dosificación proporcionada por el interesado

ATENTAMENTE

Vo. Bo.



Ing. Josue Rolando Castellanos
Supervisor de Calidad



Sergio Garcia
Responsable del ensayo



Fuente: MULTIBLOCK. *Informe de resistencia*. p. 1-2.

