



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

## **ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE BLOQUES PREFABRICADOS DE CONCRETO ALIGERADOS CON POLIESTIRENO EXPANDIDO**

**Axel Fernando Jiménez Cruz**

Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, junio de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE BLOQUES PREFABRICADOS DE  
CONCRETO ALIGERADOS CON POLIESTIRENO EXPANDIDO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**AXEL FERNANDO JIMÉNEZ CRUZ**

ASESORADO POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

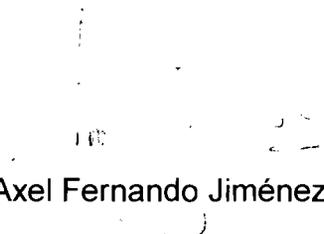
GUATEMALA, JUNIO DE 2009

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE BLOQUES PREFABRICADOS DE CONCRETO ALIGERADOS CON POLIESTIRENO EXPANDIDO,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 30 de abril de 2008.

  
Axel Fernando Jiménez Cruz

Guatemala, mayo de 2009.

Ingeniero  
Francisco Javier Quiñónez de la Cruz  
Coordinador Área de Materiales  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos  
Guatemala

Ingeniero Quiñónez:

Por este medio, hago notificar que he revisado el trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE BLOQUES PREFABRICADOS DE CONCRETO ALIGERADOS CON POLIESTIRENO EXPANDIDO**, del estudiante Axel Fernando Jiménez Cruz con carné 97-13481, previo a optar al título de Ingeniería Civil, habiéndole encontrado completamente satisfactorio.

Sin otro particular, me suscribo de usted atentamente,

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**



Ing. Civil Mario Rodolfo Corzo Ávila  
Colegiado No. 2089

Mario Rodolfo Corzo  
INGENIERO CIVIL  
Colegiado No. 2089

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 26 de mayo de 2 009

Ingeniero  
Sydney Alexander Samuels Milson  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería

Señor Director:

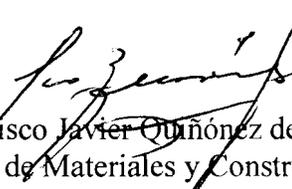
Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **“Análisis y evaluación de bloques prefabricados de concreto aligerados con poliestireno expandido”**, realizado por el estudiante universitario **Axel Fernando Jiménez Cruz**, quien contó con la asesoría del Ingeniero Mario Rodolfo Corzo Ávila.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **Jiménez Cruz**, cumple con los objetivos para los cuales fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. Francisco Javier Quiónez de la Cruz  
Coordinador Área de Materiales y Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

Cc archivo



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, al trabajo de graduación del estudiante Axel Fernando Jiménez Cruz, titulado ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE BLOQUES PREFABRICADOS DE CONCRETO ALIGERADOS CON POLIESTIRENO EXPANDIDO, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.



Mgter. Ing. Sydney Alexander Samuels Milson

Guatemala, junio 2009

/bbdeb.



Ref. DTG.214.09

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: **ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE BLOQUES PREFABRICADOS DE CONCRETO ALIGERADOS CON POLIESTIRENO EXPANDIDO**, presentado por el estudiante universitario **Axel Fernando Jiménez Cruz**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

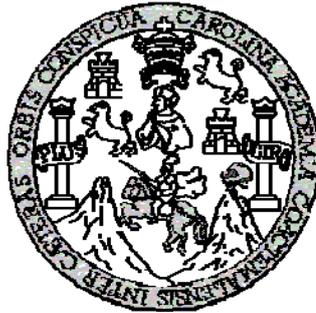
Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, junio de 2009

/cc

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

<b>DECANO</b>	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
<b>VOCAL I</b>	Inga. Glenda Patricia García Soria
<b>VOCAL II</b>	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
<b>VOCAL III</b>	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
<b>VOCAL IV</b>	Br. José Milton De León Bran
<b>VOCAL V</b>	Br. Isaac Sultán Mejía
<b>SECRETARIO</b>	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

<b>DECANO</b>	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Rafael Morales Ochoa
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
<b>SECRETARIO</b>	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Creador y Sustentador del Universo.
<b>Mis padres</b>	Huberto Jiménez Mary de Jiménez  Con mucho amor y admiración, por su esfuerzo y apoyo incondicional, para la obtención de este triunfo; sin ellos no lo hubiera logrado.
<b>Mis hermanos</b>	Omar Josuá Jiménez Cruz Zibdy Maricruz Jiménez Cruz  Sin ellos no estuviera celebrando.
<b>Mi esposa</b>	Edna Deamileth Barrios de Jiménez  Por su apoyo, cariño, y por estar siempre conmigo en los tiempos difíciles.
<b>Mis tíos</b>	Con cariño y aprecio a todos, en especial a: Myrna Jiménez de Escalante.  Gracias por ser como sos.
<b>Mis primos</b>	Por su amistad y afecto, en especial a: Daniel Escalante Jiménez.
<b>Mis familiares, amigos y compañeros en general</b>	Por su cariño mostrado día con día. .

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por haberme iluminado y guiado, permitiendo la culminación de mi carrera.
<b>El ingeniero</b>	Mario Rodolfo Corzo Ávila. Por asesorar el desarrollo de este trabajo de graduación y ser mi amigo.
<b>El ingeniero</b>	Erick Guerra. Por haberme brindado su apoyo para desarrollar este trabajo de graduación.
<b>Iglesia Adventista de Jalapa</b>	Por sus oraciones. Gracias a todos.
<b>Jóvenes Iglesia Adventista de Jalapa</b>	Gracias a todos. Por eso no los cambio.
<b>A la familia de mi esposa</b>	Por su apoyo. Muchas gracias.
<b>La Facultad de Ingeniería, USAC</b>	Por haberme dado el privilegio de ocupar sus aulas.
<b>Prefabricados C.I.I.</b>	Como dijo huesos, no se gana pero se goza. Pero se aprende mucho.  Gracias a todos, don Fabio, don Raúl, Tiván, Moi, don Carlos, Ing. Quiñónez, Alex Rolando, Leonel, Beatriz, Nancy y don Nayo.

**Y a todas las personas que de una u otra forma contribuyeron en ver culminada mi carrera.**

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII

### 1. MARCO TEÓRICO

<b>1.1. Descripción de los materiales del sistema.....</b>	<b>1</b>
1.1.1 Agregados del concreto.....	1
1.1.2 Cemento.....	2
1.1.3 Poliestireno expandido .....	2
1.1.4 Descripción del sistema en la construcción del bloque liviano de concreto, aligerado con poliestireno expandido.....	3
<b>1.2. Ventajas y desventajas del sistema.....</b>	<b>6</b>
1.2.1 Ventajas del sistema.....	6
1.2.2 Desventajas del sistema.....	6
<b>1.3. Ensayo de granulometría a los agregados del concreto.....</b>	<b>7</b>
1.3.1 Resultados del ensayo de granulometría a los agregados del concreto, ASTM C-136.....	9
1.3.2 Criterios utilizados para evaluar la granulometría de los agregados.....	9

<b>1.4. Ensayo a compresión de probetas de concreto.....</b>	<b>12</b>
1.4.1 Generalidades sobre la compresión.....	12
1.4.2 Criterios utilizados para la evaluación del comportamiento a compresión del concreto.....	12
1.4.3 Criterios utilizados para evaluar la máxima resistencia a compresión del concreto.....	13
1.4.4 Ensayo de resistencia a compresión, ASTM C-39....	13
1.4.5 Descripción para el cálculo de carga y esfuerzo último a compresión.....	14
<b>1.5. Ensayo de absorción del concreto a utilizar.....</b>	<b>15</b>
1.5.1 Generalidades sobre la absorción.....	15
1.5.2 Importancia de las propiedades de absorción en el concreto.....	15
1.5.3 Ensayo de resistencia a la absorción, ASTM C-642...	16
1.5.4 Descripción para el cálculo del porcentaje de absorción.....	17
<b>1.6. Ensayo a compresión del bloque.....</b>	<b>17</b>
1.6.1 Generalidades sobre la compresión.....	17
1.6.2 Criterios utilizados para la evaluación del comportamiento a compresión del bloque.....	18
1.6.3 Criterios utilizados para evaluar la carga máxima a compresión del bloque.....	19
1.6.4 Ensayo de resistencia a compresión, ASTM E-447....	19
1.6.5 Descripción para el cálculo del esfuerzo a compresión del bloque de concreto.....	20
<b>1.7. Ensayo a corte del bloque.....</b>	<b>21</b>
1.7.1 Generalidades sobre la carga lateral(fuerza de corte).....	21

1.7.2	Criterios utilizados para la evaluación del comportamiento a corte del bloque.....	21
1.7.3	Criterios utilizados para evaluar la carga máxima a corte del bloque.....	22
1.7.4	Ensayo de resistencia a corte, ASTM E-519.....	22
1.7.5	Descripción para el cálculo del esfuerzo a corte del bloque.....	24
<b>1.8.</b>	<b>Ensayo de adherencia y fricción de un prisma.....</b>	<b>24</b>
1.8.1	Generalidades sobre la adherencia y fricción.....	24
1.8.2	Criterios utilizados para la evaluación del comportamiento de la adherencia y fricción del bloque.....	25
1.8.3	Criterios utilizados para evaluar la fuerza de adherencia y el coeficiente de fricción del bloque.....	26
1.8.4	Ensayo de resistencia a adherencia y fricción.....	26
1.8.5	Descripción para el cálculo del esfuerzo de adherencia y el coeficiente de fricción del bloque de concreto.....	28

## **2. MARCO EXPERIMENTAL**

<b>2.1.</b>	<b>Descripción de las muestras de ensayo.....</b>	<b>29</b>
2.1.1	Descripción de los materiales.....	29
2.1.2	Descripción del bloque.....	30
2.1.3	Descripción de los prismas.....	32

<b>2.2. Resultados de los ensayos.....</b>	<b>33</b>
2.2.1 Resultados de los materiales.....	33
2.2.2 Resultados del bloque.....	38
2.2.3 Resultados de los prismas.....	42
<b>3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>51</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>55</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>57</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>59</b>
<b>APÉNDICE.....</b>	<b>61</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Vista lateral de la membrana de poliestireno expandido.....	3
2.	Vista frontal de la membrana de poliestireno expandido.....	4
3.	Proceso de curado del concreto del bloque.....	4
4.	Bloques prefabricados de concreto apilados.....	5
5.	Límites granulométricos del comportamiento de los agregados...	10
6.	Extracción de muestra de concreto.....	16
7.	Esquema de aplicación de carga del ensayo a compresión.....	20
8.	Esquema de aplicación de carga del ensayo a corte.....	23
9.	Muestra de bloque para ensayo de corte.....	23
10.	Esquema de aplicación de carga del ensayo de adherencia.....	27
11.	Muestra de bloque para ensayo de adherencia.....	28
12.	Dimensiones en vista frontal del bloque.....	30
13.	Dimensiones en sección transversal del bloque.....	30
14.	Dimensiones en vista lateral del bloque.....	31
15.	Dimensiones de prisma para ensayo de adherencia.....	32
16.	Análisis granulométrico del agregado fino.....	33
17.	Análisis granulométrico del agregado grueso.....	34
18.	Toma de 5 muestras para ensayo de absorción.....	36
19.	Toma de peso de la muestra.....	37
20.	Muestras de concreto en el horno.....	37
21.	Falla de la muestra 4 en ensayo a compresión.....	39
22.	Falla de la muestra 5 en ensayo a compresión.....	40

23.	Falla de la muestra 1 en ensayo a corte.....	41
24.	Muestra 1, ensayo de prismas adherencia y fricción.....	43
25.	Muestra 2, ensayo de prismas adherencia y fricción.....	44
26.	Muestra 3, ensayo de prismas adherencia y fricción.....	45
27.	Muestra 4, ensayo de prismas adherencia y fricción.....	46
28.	Muestra 5, ensayo de prismas adherencia y fricción.....	47
29.	Falla de la muestra 1 en ensayo de adherencia.....	49
30.	Falla de la muestra 3 en ensayo de adherencia.....	49

## TABLAS

I.	Relación de longitud/diámetro y factor de corrección.....	14
II.	Peso del bloque.....	31
III.	Resultados del ensayo a compresión de cilindros de concreto..	34
IV.	Resistencia última de cilindros de concreto a compresión.....	35
V.	Resultados ensayo de absorción.....	35
VI.	Porcentaje de absorción del concreto.....	36
VII.	Resultados ensayo a compresión.....	38
VIII.	Resultados ensayo a corte.....	40
IX.	Área de contacto del bloque para ensayo de adherencia.....	42
X.	Resultados de prisma 1 de ensayo de adherencia.....	43
XI.	Resultados de prisma 2 de ensayo de adherencia.....	44
XII.	Resultados de prisma 3 de ensayo de adherencia.....	45
XIII.	Resultados de prisma 4 de ensayo de adherencia.....	46
XIV.	Resultados de prisma 5 de ensayo de adherencia.....	47
XV.	Coeficiente de fricción entre bloque y mortero.....	48
XVI.	Fuerza de adherencia entre bloque y mortero.....	48
XVII.	Esfuerzo de adherencia entre bloque y mortero.....	48

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\varnothing$	Diámetro.
$\Phi$	Coefficiente al corte, que depende del tipo de mamposte.
cm	Centímetro.
cm <sup>2</sup>	Indica centímetros cuadrados.
coef	Coefficiente de fricción.
E <sub>c</sub>	Módulo de elasticidad al cortante, kg/cm.
E <sub>m</sub>	Módulo de elasticidad del mamposte, kg/cm <sup>2</sup> .
F	Fuerza.
f' <sub>c</sub>	Esfuerzo de compresión del concreto, kg/cm <sup>2</sup> .
f' <sub>m</sub>	Esfuerzo de compresión de la mamposte, kg/cm <sup>2</sup> .
F <sub>h</sub>	Carga lateral.
F <sub>c</sub>	Carga lateral de confinamiento.
F <sub>d</sub>	Compresión diagonal.

<b>gr</b>	Gramos.
<b>h</b>	Hora.
<b>H</b>	Altura.
<b>kgf</b>	Kilogramos fuerza.
<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Kilogramos por centímetro cuadrado.
<b>kg/m<sup>3</sup></b>	Kilogramo por metro cúbico.
<b>lb</b>	Libra.
<b>m</b>	Metros.
<b>m<sup>3</sup></b>	Metros cúbicos.
<b>mm</b>	Milímetros.
<b>MPa</b>	Mega pascales.
<b>Pág.</b>	Página.
<b>Pu</b>	Carga última.
<b>y</b>	Pendiente de la recta

## GLOSARIO

<b>Absorción</b>	Refiere a la absorción de agua.
<b>ACI</b>	<i>American Concrete Institute</i> (Instituto Americano del Concreto).
<b>AGIES</b>	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.
<b>Agregado</b>	Es el material inerte que, unido con un aglomerante en una masa conglomerada, forma concreto o mortero. Estos se dividen según su tamaño en finos y gruesos, el límite es el tamiz de 4.75 mm de abertura.
<b>Área Bruta</b>	Área total de una sección.
<b>Área Neta</b>	Área efectiva de una sección.
<b>ASTM</b>	<i>American Society for Testing and Materials</i> (Sociedad Americana de Ensayos y Materiales).
<b>Cemento</b>	Sustancia de polvo fino hecha de argamasa de yeso, capaz de formar una pasta blanda al mezclarse con agua.

<b>COGUANOR</b>	Siglas de la Comisión Guatemalteca de Normas.
<b>Concreto</b>	Mezcla de Cemento Pórtland, agua y aglomerantes finos y gruesos. Prueba de las propiedades de una estructura o elemento.
<b>Ensayo</b>	Prueba de las propiedades de una estructura o elemento.
<b>Esfuerzo</b>	El producto de la aplicación de una fuerza sobre un área.
<b>Fluencia</b>	Límite donde un elemento sometido a esfuerzo pierde su proporcionalidad, esfuerzo-deformación lineal y comienza a tener comportamiento plástico.
<b>Fuerza</b>	Energía que se aplica a un elemento.
<b>Hormigón</b>	Nombre que se le da también al concreto.
<b>Mampostería</b>	Sistema constructivo formado por materiales simplemente acomodados o aglutinados.
<b>Mamposte</b>	Unidad de mampostería.
<b>Mortero de albañilería</b>	Mortero utilizado para unir elementos de mampostería unos con otros.
<b>Prismas</b>	Elementos de mampostería construidos con bloques de concreto que simulan secciones de muros.

<b>Poliestireno expandido</b>	Material plástico espumado, derivado del poli estireno.
<b>Prisma de mampostería</b>	Muestra representativa de la mampostería de un muro.
<b>PSI</b>	Pounds Square Inche (Libra sobre pulgada cuadrada).



## **RESUMEN**

El presente trabajo contiene la evaluación a bloques prefabricados elaborados con concreto y una membrana interior de poliestireno expandido, para determinar sus características físicas y mecánicas.

Todos los ensayos se realizaron en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, se contó con el equipo necesario para realizar los ensayos y con la ayuda del personal de la Sección de Estructuras.

Se realizaron ensayos a los agregados que formaban el bloque que fue el de granulometría, para observar la curva granulométrica de cada uno de ellos y analizar el tamaño y proporción del agregado grueso y el agregado fino. Al concreto se le hizo el ensayo a compresión a probetas, para determinar la resistencia a compresión del concreto y el ensayo de absorción, para observar cuál es el porcentaje de absorción que tiene el concreto. A los bloques prefabricados como un todo se le realizó el ensayo a compresión, para determinar la resistencia a compresión, el ensayo a corte (carga lateral) para determinar la resistencia de corte; luego se elaboraron prismas con un mortero de albañilería y se realizó el ensayo de adherencia y fricción para determinar la fuerza de adherencia del bloque con el mortero y su coeficiente de fricción.



## **OBJETIVOS**

### **General:**

Caracterizar un bloque prefabricado aligerado con poliestireno expandido, buscando que cumplan los requerimientos necesarios con las siguientes características: seguras estructuralmente, de buena calidad, de poco peso, de fácil montaje, con alto grado de aislamiento térmico y acústico

### **Específicos:**

1. Determinar la granulometría de los agregados que se utilizarán en el concreto del bloque.
2. Determinar la resistencia a compresión de probetas cilíndricas del concreto que se utilizó en los bloques.
3. Determinar el porcentaje de absorción del concreto que se utilizó en los bloques.
4. Determinar la resistencia a compresión del bloque de concreto.
5. Determinar la resistencia de corte del bloque de concreto.
6. Determinar el esfuerzo de adherencia y el coeficiente de fricción del bloque de concreto.
7. Se realizó el análisis de los resultados obtenidos de cada uno de los ensayos a los materiales y del bloque, para observar el comportamiento físico-mecánico de dicho bloque.



## INTRODUCCIÓN

Con este trabajo de graduación se desarrolla el estudio a un bloque prefabricado, compuesto por un núcleo de poli estireno expandido revestido de concreto; dicho estudio se realizó a través de la investigación para observar su comportamiento e implementarlo posteriormente a un sistema de muro. Estos bloques poseen una pastilla de concreto en los extremos con dientes en su área transversal para una mejor adherencia con el poli estireno. El concreto tiene la función de soportar los esfuerzos a compresión, a corte, a adherencia y fricción y determinar su porcentaje de absorción; todo esto para proporcionar la rigidez necesaria. El poliestireno expandido a la vez que sirve como aligerante y tiene las funciones de aislante térmico y acústico.

Un elemento de mampostería presenta una buena resistencia a compresión, tiene un buen comportamiento frente a cargas verticales y horizontales paralelas a su plano, pero tiene muy poca resistencia a tracción por lo que no es muy resistente frente a cargas horizontales perpendiculares a su plano.

Se realizaron los siguientes ensayos:

Granulometría a los agregados.

Absorción al concreto.

Compresión al concreto.

Compresión al bloque.

Corte al bloque.

Adherencia y fricción a prismas.

La granulometría realizada a los agregados es uniforme y tiene una buena graduación. El agregado grueso no cumple con los requerimientos máximos que se encuentran en la norma ASTM C 33.

Luego de realizar el ensayo a compresión se obtuvieron resultados muy buenos, dando un esfuerzo para un bloque de alta resistencia. El ensayo a corte cumplió con los requerimientos, según las normas y el coeficiente de fricción entre el mortero y el bloque es aceptable.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 Descripción de los materiales del sistema

### 1.1.1 Agregados del concreto

También llamados áridos, son aquellos materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales. De acuerdo con el origen de los agregados, se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a) **Agregados naturales:** son todos aquellos que provienen de la explotación de fuentes naturales, tales como depósitos de arrastres fluviales (arenas de río) o de glaciares (canto rodado) y de canteras de diversas rocas y piedras naturales. Se pueden aprovechar en su granulación natural o triturándolos mecánicamente, según sea el caso, de acuerdo con las especificaciones requeridas.
  
- b) **Agregados artificiales:** estos se obtienen a partir de productos y procesos industriales tales como: arcillas expandidas, escorias de alto horno, clinker, limaduras de hierro y otros. Generalmente son más ligeros o pesados que los naturales.

Los agregados que se utilizaron en el concreto son arena de río (agregado fino) y piedrín (agregado grueso) de la empresa AGREGUA, los cuales a simple vista estaban bien graduados, lo cual proporcionó un tipo de concreto fácil de trabajar.

### **1.1.2 Cemento**

Es un conglomerante hidráulico, que proviene de la pulverización del clinker obtenido por fusión insipiente de materiales arcillosos y calizos, que contengan óxidos de calcio, silicio, aluminio y fierro en cantidades convenientemente dosificadas y sin mas adición posterior que hierro sin calcinar, así como otros materiales que no excedan del uno por ciento del peso total y que no sean nocivos para el comportamiento posterior al cemento.

El cemento que se utilizó es el Cemento Pórtland con adición de puzolana natural clasificado como cemento general en la construcción (UGC).

### **1.1.3 Poliestireno expandido**

El poliestireno expandido es un material plástico espumado, derivado del poli estireno y utilizado en el sector del envase y la construcción<sup>1</sup>. En nuestro país se le conoce con el nombre de duropor.

Las características que se pueden encontrar en el poli estireno expandido son las siguientes:

- Higiene, al no constituir sustrato nutritivo para microorganismos. Es decir, no se pudre, no se enmohece ni se descompone.
- Ligereza, resistencia a la humedad y capacidad de absorción de los impactos.
- Aislante térmico y acústico.

---

<sup>1</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Aislante\\_térmico\\_de\\_poliestireno](http://es.wikipedia.org/wiki/Aislante_térmico_de_poliestireno)

#### **1.1.4 Descripción del sistema en la construcción del bloque liviano de concreto, aligerado con poli estireno expandido**

El bloque prefabricado está compuesto por un núcleo de poli estireno expandido con cuatro ranuras transversales a lo largo del bloque, dichas ranuras son de dos centímetros de ancho por 2 centímetros de profundidad, también posee una ranura de las mismas medidas en todo el contorno del núcleo, estas ranuras dan una mejor adherencia entre el concreto y el núcleo de poli estireno. La forma del núcleo de poli estireno expandido se muestra en la siguiente figura.

**Figura 1. Vista lateral de la membrana de poliestireno expandido.**



**Figura 2. Vista frontal de la membrana de poliestireno expandido.**



El núcleo de poliestireno se le reviste en sus áreas laterales de una pulgada de concreto, fundido artesanalmente ayudado con una formaleta, como se muestra en la siguiente fotografía.

**Figura 3. Proceso de curado del concreto del bloque.**



Estos bloques poseerán una pastilla de concreto en los extremos con dientes en su área transversal para una mejor adherencia con el poliestireno.

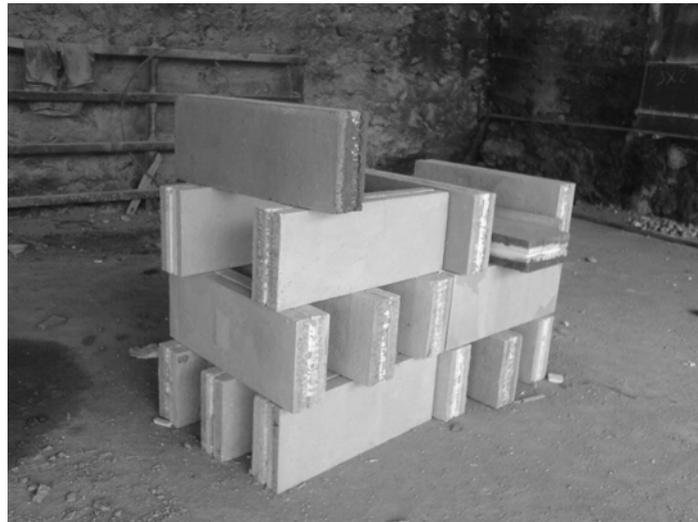
Los bloques funcionan como elementos de mampostería los cuales ya terminados tendrán las medidas siguientes:

Ancho: 30 centímetros.

Largo: 80 centímetros.

Espesor: 13 centímetros.

**Figura 4. Bloques prefabricados de concreto apilados.**



## **1.2 Ventajas y desventajas del sistema**

### **1.2.1 Ventajas del sistema**

Se tienen como ventajas del sistema las siguientes:

- Bloques ligeros, para un mejor manejo en la construcción.
- Mayor área en su área lateral, comparado con cualquier unidad conocida de mampostería.
- Buena adherencia del bloque y el mortero con el cual son unidos.
- Funciona como un aislante térmico.
- Un buen sistema acústico.
- Muy buena resistencia a la compresión.
- Resistencia a la humedad y capacidad de Absorción al Impacto.

### **1.2.2 Desventajas del sistema**

Se tienen como desventajas del sistema las siguientes:

- Comparadas con bloques de menor dimensión, las condiciones arquitectónicas son más restrictivas, al necesitar ciertas condiciones de regularidad y simetría.

- Falta de conocimiento para su correcta utilización.
- Poca posibilidad de modificaciones.
- El proceso de construcción de los bloques es lento.
- El sistema por el momento es antieconómico por el alto valor del poliestireno expandido.

### **1.3 Ensayo de granulometría a los agregados del concreto**

La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados, así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto.

Para mantener una adecuada uniformidad en la granulometría de los agregados durante su utilización en la elaboración del concreto, el procedimiento consiste en dividirlos en fracciones que se dosifican individualmente. Puesto que el grado de uniformidad posible está en función del intervalo abarcado por cada fracción, lo deseable es dividir el conjunto de partículas en el mayor número de fracciones que sea técnica, económica y prácticamente factible.

a) Agregado fino

La composición granulométrica de la arena se acostumbra analizar mediante su separación en siete fracciones, cribándola a través de mallas normalizadas como "serie estándar", cuyas aberturas se duplican sucesivamente a partir de la más reducida que es igual a 0.150 mm (ASTM No.100). Se utilizó un 35% de agregado fino respecto del total de agregados utilizado en el concreto.

Las granulometrías ideales solo existen a nivel teórico y difícilmente se pueden reproducir en la práctica, esto no quiere decir que nuestro agregado utilizado no de las resistencias esperadas en el diseño de mezclas.

b) Agregado grueso

De igual modo que en el caso de la arena, es deseable que el agregado grueso en conjunto posea continuidad de tamaños en su composición granulométrica, si bien los efectos que la granulometría de la grava produce sobre la manejabilidad de las mezclas de concreto no son tan notables como los que produce la arena. Se utilizó un 65% de agregado grueso respecto del total de agregados utilizado en el concreto.

### **1.3.1 Resultados del ensayo de granulometría a los agregados del concreto, ASTM C-136**

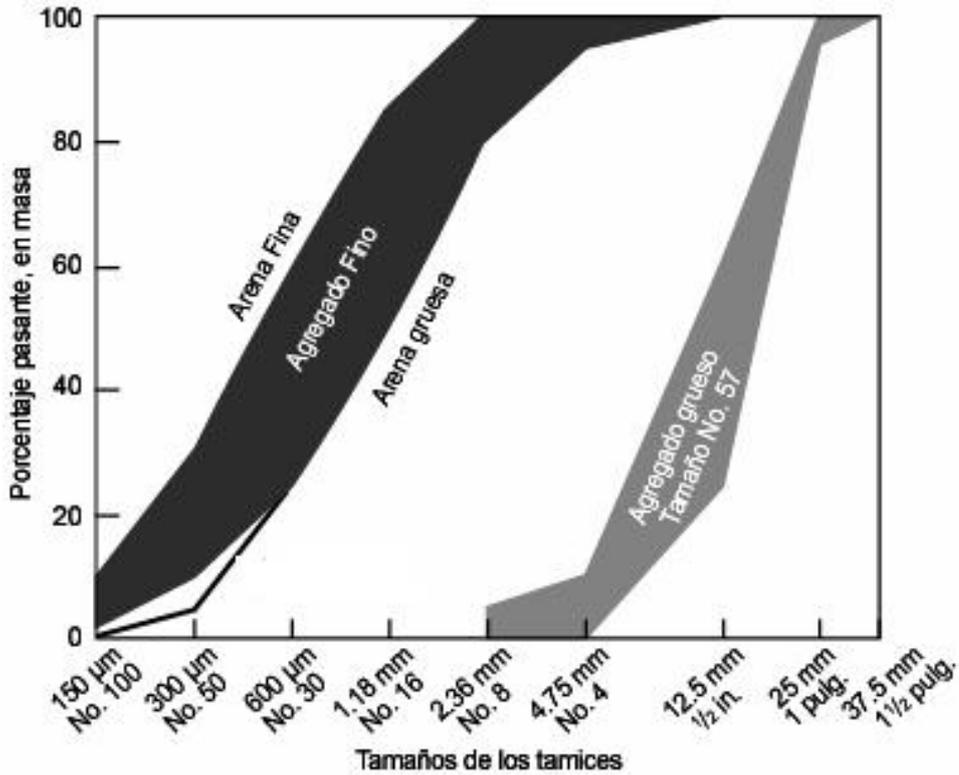
Se considera que una buena granulometría es aquella que está constituida por partículas de todos los tamaños, de tal manera que los vacíos dejados por las de mayor tamaño sean ocupados por otras de menor tamaño y así sucesivamente.

### **1.3.2 Criterios utilizados para evaluar la granulometría de los agregados**

El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla de tamaño máximo nominal, puede retener de 5% a 15% del agregado dependiendo del tamaño del mismo.

Existen ciertos límites establecidos de granulometría para observar el comportamiento de los agregados los cuales son los siguientes.

Figura 5. Límites granulométricos del comportamiento de los agregados.



a) Agregado fino

Para asegurar una razonable continuidad en la granulometría de la arena, las especificaciones de agregados para concreto (ASTM C-33) requieren que en cada fracción exista una proporción de partículas comprendida dentro de ciertos límites establecidos empíricamente, estos están comprendidos entre el 25% al 35% del total del agregado del concreto.

Un criterio rígido sería la aceptación de la arena con base en esta característica de los límites establecidos, de preferencia es recomendable dejar abierta la posibilidad de que se puedan emplear arenas con ciertas deficiencias granulométricas, siempre y cuando no exista la alternativa de una arena mejor graduada, y se demuestre mediante pruebas que la arena en cuestión permite obtener concreto de las características y propiedades requeridas a costo razonable.

El costo estará en relación a las propiedades del concreto, siendo uno de los factores la optimización del cemento, siendo muy importante la temperatura, por tal razón cuando menores son las variaciones térmicas del concreto, también variará el costo, siendo el precio de estos mas razonable.

#### b) Agregado grueso

De igual modo que en el caso de la arena, es deseable que el agregado grueso en conjunto posea continuidad de tamaños en su composición granulométrica, si bien los efectos que la granulometría de la grava produce sobre la manejabilidad de las mezclas de concreto no son tan notables como los que produce la arena.

Para analizar la composición granulométrica de la grava en conjunto, se le criba por mallas cuyas aberturas se seleccionan de acuerdo con el intervalo dimensional dado por su tamaño máximo, buscando dividir este intervalo en suficientes fracciones que permitan juzgar su distribución de tamaño a fin de compararla con los límites granulométricos que le sean aplicables.

## **1.4 Ensayo a compresión de probetas de concreto**

### **1.4.1 Generalidades sobre la compresión**

Las mezclas de concreto se pueden diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura. La resistencia a la compresión del bloque es la medida de desempeño que se emplea para diseñar edificios y otras estructuras.

La resistencia a la compresión se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión. Los resultados de las pruebas de resistencia a partir de cilindros fundidos se pueden utilizar para fines de control de calidad, aceptación del concreto o para estimar la resistencia del concreto en estructuras para programar las operaciones de construcción.

### **1.4.2 Criterios utilizados para la evaluación del comportamiento a compresión del concreto**

La resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección que resiste la carga y se reporta en unidades de fuerza por unidad de área.

Los resultados de las pruebas de la resistencia a la compresión se emplean fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada.

### **1.4.3 Criterios utilizados para evaluar la máxima resistencia a compresión del concreto**

La resistencia máxima del concreto se obtiene por medio de muestras con forma cilíndrica de concreto; la forma de calcularla es dividiendo la máxima carga axial soportada por la probeta para producir la fractura, por el área promedio de la sección. Se someten a prueba por lo menos dos cilindros de la misma edad y se reporta la resistencia promedio como el resultado de la prueba.

### **1.4.4 Ensayo de resistencia a compresión del concreto, ASTM C-39**

Las probetas cilíndricas para pruebas de aceptación deben tener un tamaño de 6 x 12 pulgadas. El diámetro del cilindro utilizado debe ser como mínimo 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso que se emplee en el concreto. Con el fin de conseguir una distribución uniforme de la carga, generalmente los cilindros se tapan con mortero de azufre (ASTM C617). Las cubiertas de azufre se deben aplicar como mínimo 2 horas antes de la prueba. El diámetro del cilindro se debe medir en dos sitios en ángulos rectos entre sí a media altura de la probeta y deben promediarse para calcular el área de la sección. Los cilindros se deben centrar en la máquina de ensayo de compresión y cargados hasta completar la ruptura. La fractura cónica es un patrón común de ruptura.

### 1.4.5 Descripción para el cálculo de carga y esfuerzo último a compresión

La carga última a compresión se obtiene directamente de la lectura de carga que da la máquina de ensayo a compresión, exactamente cuando en el cilindro de concreto se completa la ruptura.

El esfuerzo último a compresión del concreto ( $f'_c$ ) se obtiene con la división de la carga última por el área de la sección transversal del cilindro de concreto.

$$f'_c = P/A$$

**P = Carga última.**

**A = Área de la sección transversal.**

Según la norma ASTM C 39, si la relación entre la altura del cilindro y su diámetro es menor que 1.8 se corrige el resultado anteriormente obtenido multiplicándolo por el factor de corrección apropiado mostrado en la siguiente tabla:

**Tabla I. Relación de longitud/diámetro y factor de corrección.**

Longitud/diámetro	1.75	1.50	1.25	1.00
Factor	0.98	0.96	0.93	0.87

## **1.5 Ensayo de absorción del concreto a utilizar**

### **1.5.1 Generalidades sobre la absorción**

El contenido de humedad y la absorción son las propiedades más importantes de las unidades y tienen un efecto considerable sobre las características de la mampostería.

El contenido de humedad se define como la masa de agua por unidad de volumen, la cual puede ser expresada, en términos absolutos o en términos relativos a la densidad de la unidad cuando esta se seca.

La absorción normal es la cantidad de agua absorbida hasta la saturación por el concreto a presión y temperatura ambiente.

### **1.5.2 Importancia de las propiedades de absorción en el concreto**

Con este ensayo se puede conocer el coeficiente de saturación de una pieza de mampostería, propiedad con la cual se observa si la pieza puede formar una buena unión con el mortero.

También es muy importante para conocer cómo actuará el bloque a las diferentes cambios climáticos que puedan haber en el lugar de la construcción. El porcentaje de absorción en bloques de mampostería tiene que estar entre el 10% y 20%.

### **1.5.3 Ensayo de resistencia a la absorción, ASTM C-642**

Se toman cinco muestras de concreto de los bloques, dichas muestras se pesan cada una, después de esto se sumergen en agua por 24 horas para tener un estado de saturación en las mismas, al pasar este tiempo se pesan de nuevo las muestras para obtener su peso húmedo. Después de haber hecho este procedimiento, se introducen en un horno a 110°C por 24 horas más, al terminar este tiempo se sacan las muestras del horno y se toman por última vez su peso, para obtener su peso seco.

**Figura 6. Extracción de muestra de concreto.**



#### **1.5.4 Descripción para el cálculo del porcentaje de absorción**

Al tener los datos de peso seco y el peso húmedo provenientes de las muestras se procede a calcular el porcentaje de absorción del concreto del bloque prefabricado.

El porcentaje de absorción se obtiene de la diferencia del peso húmedo y el peso seco, esta diferencia se divide entre el peso seco y todo el resultado se multiplica por cien para obtener un porcentaje.

El porcentaje de absorción del bloque se determina:

$$\% \text{ Absorción} = [ (\text{peso seco} - \text{peso húmedo}) / \text{peso seco} ] \times 100$$

### **1.6 Ensayo a compresión del bloque**

#### **1.6.1 Generalidades sobre la compresión**

Las mezclas de concreto se pueden diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura. La resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras.

### **1.6.2 Criterios utilizados para la evaluación del comportamiento a compresión del bloque**

La resistencia a la compresión muestra un intervalo de variación bastante amplio, dependiendo del material y del tipo de unidad.

No hay un conocimiento muy amplio acerca de la relación esfuerzo-deformación de las unidades de mampostería bajo compresión. Los resultados de experimentos indican que esta relación es casi lineal hasta el fallo, punto al que sigue un rápido decrecimiento de la resistencia.

La resistencia a compresión de los mampuestos se determina por medio de una compresión uniforme del mismo en sentido perpendicular a la cara de asiento.

Este ensayo se realiza según la norma ASTM E 447 con la cual se determina la resistencia a compresión de construcciones de mampostería. La falla que ocurrirá será la típica de cualquier elemento de mampostería ensayada a compresión y se comportará como un material rígido.

### **1.6.3 Criterios utilizados para evaluar la carga máxima a compresión del bloque**

La carga máxima ocurre cuando el bloque ya no pueda soportar la carga uniforme que se aplica.

La resistencia a la compresión máxima del bloque se determina:

$$f'_{m} = P / A$$

**P = Carga última.**

**A = Área de la sección transversal.**

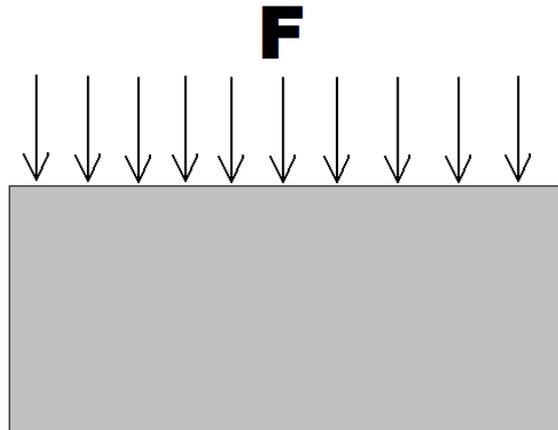
### **1.6.4 Ensayo de resistencia a compresión, ASTM E-447**

El primer paso será entonces, determinar el área de asiento de cada bloque. Se realizan al menos dos medidas del ancho y del largo del bloque para determinar los valores medios con los que se calcula el área.

Se le aplica una carga vertical **F** gradual al bloque prefabricado con la ayuda de la máquina a compresión.

El ensayo se realiza hasta que el bloque no pueda soportar incremento de carga.

**Figura 7. Esquema de aplicación de carga del ensayo a compresión.**



#### **1.6.5 Descripción para el cálculo del esfuerzo a compresión del bloque de concreto**

La carga última a compresión se obtiene directamente de la lectura de carga que da la máquina de ensayo a compresión, exactamente cuando el bloque llega a su punto de falla.

EL esfuerzo último  $f'm$  a compresión del bloque de mampostería se obtiene con la división de la carga última por el área de la sección del bloque de mampostería.

$$f'm = P/A$$

**P = Carga última.**

**A = Área de la sección transversal.**

## **1.7 Ensayo a corte del bloque**

### **1.7.1 Generalidades sobre la carga lateral (Fuerza de corte)**

Uno de los principales motivos por los cuales son generadas estas fuerzas de corte, se debe a los desplazamientos producidos por los sismos.

La fuerza de corte o esfuerzo cortante es el esfuerzo interno resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de un prisma mecánico, esta fuerza está relacionada con la tensión cortante, que es aquella que, fijada a un plano, actúa tangente al mismo.

### **1.7.2 Criterios utilizados para la evaluación del comportamiento a corte del bloque**

Para diseño de estructuras de mampostería no reforzada, sometidas a cargas laterales inducidas por viento o por movimientos sísmicos, es necesario evaluar adecuadamente la resistencia cortante.

Como en el caso de la mampostería no reforzada el esfuerzo resistente a la tensión es menor que el esfuerzo resistente a la compresión de la mampostería, aunque se trate de un ensayo de compresión diagonal, el modo de falla es en prácticamente todos los casos por tensión diagonal.

La falla de un bloque por efecto de fuerzas cortantes ocurre a través de grietas inclinadas debidas a tensiones diagonales. Es importante estudiar el comportamiento de la mampostería ante combinaciones de carga que introducen esfuerzos principales de tensión con distintas inclinaciones con respecto a las juntas.

### **1.7.3 Criterios utilizados para evaluar la carga máxima a corte del bloque**

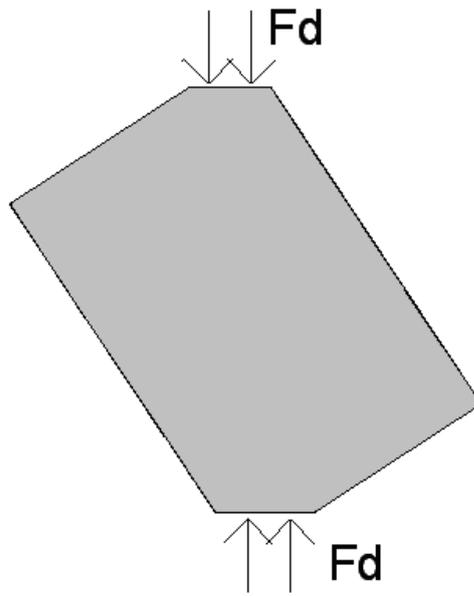
La resistencia característica al corte de la mampostería se calcula con la relación al área bruta correspondiente y se utiliza para su diseño y control.

La carga máxima a corte del bloque prefabricado se obtendrá directamente de la máquina a compresión utilizada, en el momento en que el bloque llegue hasta su punto de falla.

### **1.7.4 Ensayo de resistencia a corte, ASTM E-447**

Este ensayo consiste en aplicar una compresión diagonal **F<sub>d</sub>** al bloque prefabricado, dicho ensayo produce un estado de esfuerzos a compresión a lo largo de la diagonal en la cual se aplica la carga, pero al mismo tiempo produce un estado de esfuerzos de compresión.

**Figura 8. Esquema de aplicación de carga del ensayo a corte.**



**Figura 9. Muestra de bloque para ensayo de corte.**



### **1.7.5 Descripción para el cálculo del esfuerzo a corte del bloque de concreto**

El esfuerzo cortante resistente, cuando la falla es por tensión diagonal, es proporcional a la multiplicación de un coeficiente por la raíz cuadrada de la resistencia a compresión del mamposte.

$$V_m = \Phi \sqrt{f'_m}$$

**$\Phi$  = Coeficiente que depende del tipo de mamposte.**

Cuando la falla se presenta a través de las piezas, como lo es en el caso del ensayo realizado, el esfuerzo cortante resistente de la mampostería puede aproximarse como la carga vertical aplicada entre el área de contacto del bloque en donde es aplicada la carga vertical.

## **1.8 Ensayo de adherencia y fricción de un prisma**

### **1.8.1 Generalidades sobre la adherencia y fricción**

La adherencia unidad-mortero se logra cuando los solubles del cemento son absorbidos por la unidad, cristalizándose como agujas en sus poros. La adherencia se ve favorecida cuando el mortero penetra en las perforaciones y rugosidades de la unidad, formando una especie de llave de corte entre las hiladas.

A partir de resultados obtenidos experimentalmente, se propone la existencia de una relación lineal entre la tensión rasante máxima y la tensión de precompresión.

### **1.8.2 Criterios utilizados para la evaluación del comportamiento de la adherencia y fricción del bloque**

Existen numerosos parámetros que pueden afectar la resistencia de la adherencia entre las unidades y el mortero, no obstante, su influencia e interrelación no está aún completamente definida. Los factores más importantes, relacionados con las características de los materiales son:

- Unidades: porosidad, tasa inicial de absorción del agua, la rugosidad de la superficie, el contenido de humedad y la reactividad química.
- Mortero: características de la arena, la reacción limo-cemento, la retentividad de agua y la presencia de aditivos.

Uno de los factores que son beneficiosos para la resistencia de la adherencia es el incremento en el contenido de humedad en las unidades, sin llegar al estado de saturación y, la presencia de limos en la mezcla utilizada para el mortero, aumentan la resistencia de la adherencia entre el mortero y las unidades.

### **1.8.3 Criterios utilizados para evaluar la fuerza de adherencia y el coeficiente de fricción del bloque**

Diferentes tipos de fallo pueden ocurrir en el ensayo de adherencia, y se pueden presentar dos tipos de agrietamiento: grietas completamente verticales que atraviesan las unidades, donde la resistencia está controlada por la resistencia a la tracción de las unidades de mampostería y grietas que no afectan las unidades y solo se presentan a lo largo de las juntas de mortero, donde los factores más determinantes son la resistencia a cortante y la longitud de traslapo.

La resistencia a la tracción (fricción) de la mampostería está principalmente controlada por la resistencia a la adherencia desarrollada en las interfaces mortero-unidad. Cuando los esfuerzos de tracción actúan perpendicularmente a las juntas de mortero horizontal, los modos de fallo usualmente ocurren por separación de las interfaces mortero-unidad. Sin embargo, también puede presentarse el fallo por tensión de unidades.

### **1.8.4 Ensayo de resistencia a adherencia y fricción**

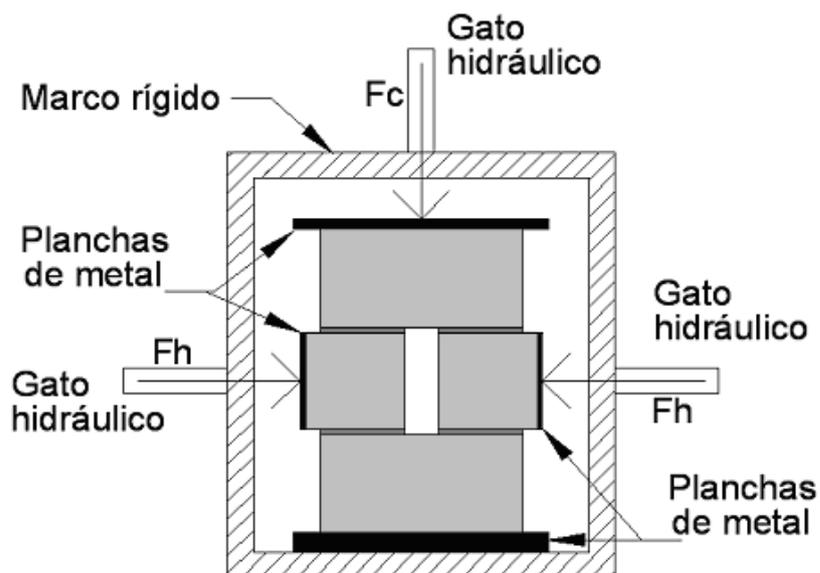
Este ensayo se utiliza para determinar la adherencia y el coeficiente de fricción que existe entre el mortero y el bloque. La máquina para realizar el ensayo de adherencia consiste en un marco rígido con un espacio para colocar el prisma, con aberturas para la colocación de gatos hidráulicos para la aplicación de cargas (vertical y lateral), y unas planchas de metal para distribuir la carga uniformemente en la cara lateral del bloque. Este marco se arma en la máquina a compresión que se encuentra en el área de prefabricados del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la USAC.

El procedimiento del ensayo de adherencia y fricción se da a continuación:

Los prismas se colocaron, alinearon y nivelaron en un marco rígido procediendo de la siguiente forma:

- Medir área de contacto entre el bloque y el mortero.
- Aplicación de carga vertical de confinamiento  $F_c$  por medio de un gato hidráulico.
- Aplicación gradual de carga lateral  $F_h$  por medio de gatos hidráulicos hasta producir un desplazamiento en las mitades intermedias.
- Falla final

**Figura 10. Esquema de aplicación de carga del ensayo de adherencia.**



**Figura 11. Muestra de bloque para ensayo de adherencia.**



#### **1.8.5 Descripción para el cálculo del esfuerzo de adherencia y el coeficiente de fricción del bloque de concreto**

EL esfuerzo de adherencia resulta de la carga lateral aplicada al prisma entre el área de contacto del prisma y el mortero aplicado, estos esfuerzos son obtenidos a diferentes cargas de confinamiento (carga vertical) y el esfuerzo máximo se obtiene cuando el prisma llega al colapso.

El coeficiente de fricción se obtiene de la pendiente de la gráfica de carga lateral versus carga de confinamiento, dicho coeficiente es adimensional.

## **2. MARCO EXPERIMENTAL**

### **2.1 Descripción de las muestras de ensayo**

#### **2.1.1 Descripción de los materiales**

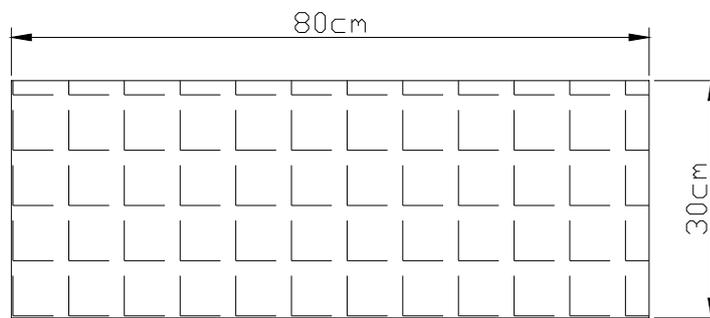
Los materiales que se utilizaron en la construcción del bloque prefabricado se dan a continuación:

- Poliestireno expandido: material plástico espumado.
- Agregado grueso: pedrín obtenido de roca triturada.
- Agregado fino: arena lavada fina obtenida de roca triturada.
- Cemento: Cemento Pórtland con adición de puzolana natural, clasificado como Cemento General en la Construcción.

### 2.1.2 Descripción del bloque

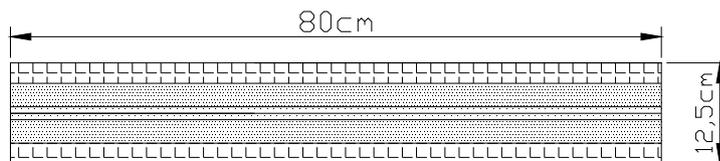
Las dimensiones del bloque se presentan a continuación:

**Figura 12. Dimensiones en vista frontal del bloque.**



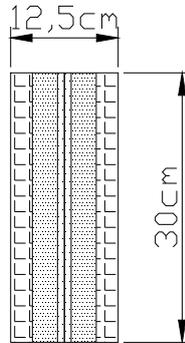
VISTA FRONTAL

**Figura 13. Dimensiones en sección transversal del bloque.**



VISTA LATERAL  
SECCIÓN TRANSVERSAL

**Figura 14. Dimensiones en vista lateral del bloque.**



VISTA LATERAL

Los pesos del bloque se presentan a continuación:

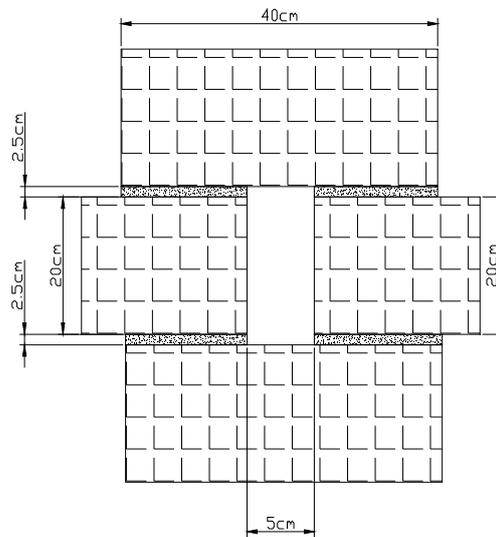
**Tabla II. Peso del bloque.**

<b>PESO BLOQUE LIVIANO</b>		
<b>MUESTRA</b>	<b>PESO(lb)</b>	<b>PESO(kg)</b>
<b>1</b>	38.68	17.50
<b>2</b>	45.53	20.60
<b>3</b>	40.89	18.50
<b>4</b>	45.97	20.80
<b>5</b>	43.54	19.70
<b>PROMEDIO</b>	<b>42.92</b>	<b>19.42</b>

### 2.1.3 Descripción de los prismas

Las dimensiones de los prismas utilizados se presentan a continuación:

**Figura 15. Dimensiones de prisma para ensayo de adherencia.**



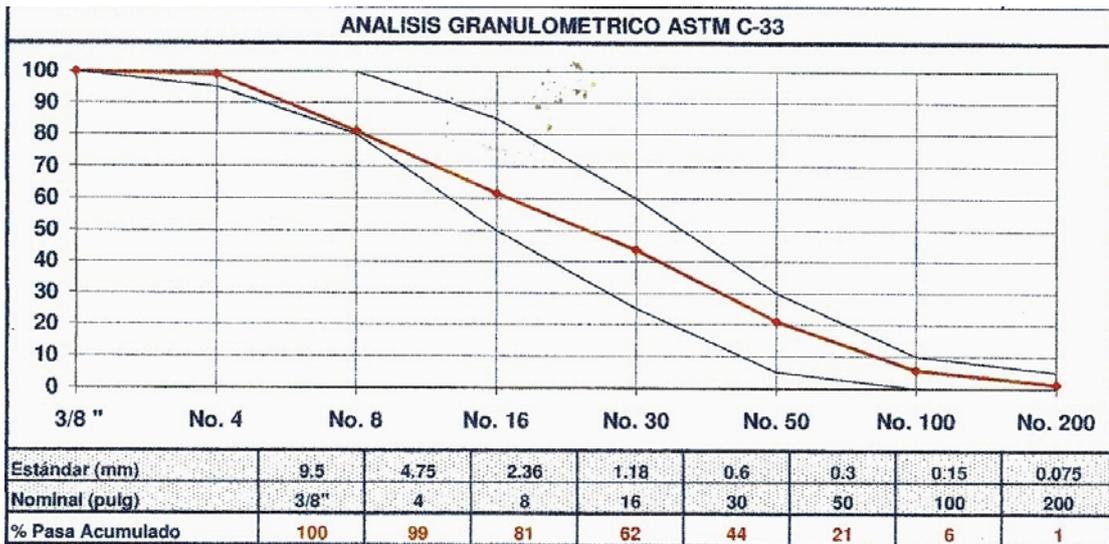
## 2.2 Resultados de los ensayos

### 2.2.1 Resultados de los materiales

#### ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS

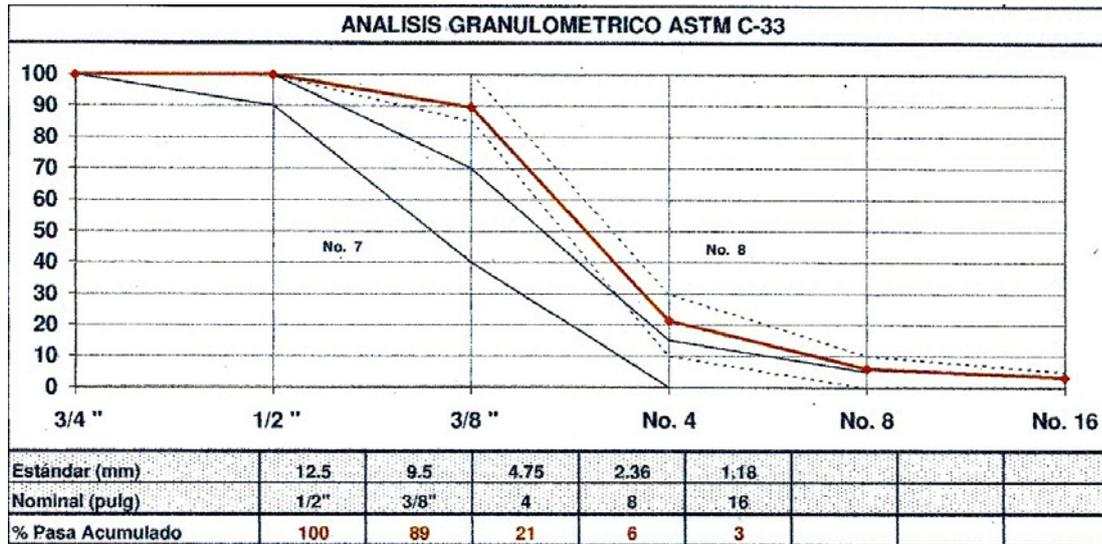
##### Ensayo de granulometría del agregado fino

Figura 16. Análisis granulométrico del agregado fino.



## Ensayo de granulometría del agregado grueso

Figura 17. Análisis granulométrico del agregado grueso.



## ENSAYO DE COMPRESIÓN AL CONCRETO

Tabla III. Resultados del ensayo a compresión de cilindros de concreto.

	$\varnothing_1$ mm	$\varnothing_2$ mm	$\varnothing_{med}$ aproximado a 0.25 mm	H mm	Area cm <sup>2</sup>	Pu lb	Pu kg
Cilindro 1	108.5	108.4	108.50	199.5	92.459	42,500	19,277.68
Cilindro 2	108.9	109.0	109.00	194.7	93.313	46,000	20,865.25
Cilindro 3	107.3	107.4	107.25	195.7	90.341	53,000	24,040.40
Cilindro 4	108.7	108.7	108.75	190.0	92.886	46,400	21,046.69

**Tabla IV. Resistencia última de cilindros de concreto a compresión.**

	<b>f'c Real (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>f'c (PSI)</b>
<b>Cilindro 1</b>	<b>208.5</b>	<b>2,970</b>
<b>Cilindro 2</b>	<b>223.6</b>	<b>3,180</b>
<b>Cilindro 3</b>	<b>266.1</b>	<b>3,780</b>
<b>Cilindro 4</b>	<b>226.6</b>	<b>3,220</b>
<b>Promedio</b>	<b>231.2</b>	<b>3287</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>24.58</b>	<b>346</b>
<b>Coef. de Variación</b>	<b>0.09</b>	

El esfuerzo último promedio a compresión del concreto fue de:

**22.68 MPa (231.30 kg/cm<sup>2</sup>; 3,290 PSI)**

El coeficiente de variación de los cilindros de concreto fue de: **0.09**

### **ENSAYO DE ABSORCIÓN AL CONCRETO**

**Tabla V. Resultados ensayo de absorción.**

<b>ENSAYO DE ABSORCIÓN</b>		
<b>Muestra</b>	<b>Peso Humedo(gr)</b>	<b>Peso Seco(gr)</b>
<b>1</b>	389.3	353.1
<b>2</b>	405.8	370.2
<b>3</b>	484.6	438.6
<b>4</b>	252.7	227.3
<b>5</b>	345.9	312.0
<b>Promedio</b>	<b>375.7</b>	<b>340.2</b>

Tabla VI. Porcentaje de absorción del concreto.

<b>ENSAYO DE ABSORCIÓN DEL CONCRETO</b>	
<b>Muestra</b>	<b>% Absorción</b>
1	10.25
2	9.62
3	10.49
4	11.17
5	10.87
<b>Promedio</b>	<b>10.48</b>
<b>Desviación Estandar</b>	1
<b>Coef. de Variación</b>	0.08

Figura 18. Toma de 5 muestras para ensayo de absorción.



**Figura 19. Toma de peso de la muestra.**



**Figura 20. Muestras de concreto en el horno.**



## 2.2.2 Resultados del bloque

### ENSAYO DE COMPRESIÓN

Tabla VII. Resultados ensayo a compresión.

<b>ENSAYO A COMPRESIÓN BLOQUE LIVIANO</b>			
<b>MUESTRA</b>	<b>CARGA (lb)</b>	<b>CARGA (kg)</b>	<b>ESFUERZO (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>1</b>	45,000	20,362	50.91
<b>2</b>	40,000	18,100	45.25
<b>3</b>	43,000	19,457	48.64
<b>4</b>	49,000	22,172	55.43
<b>5</b>	49,500	22,398	56.00
<b>PROMEDIO</b>	<b>45,300</b>	<b>20,498</b>	<b>51.24</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>4025</b>	<b>1821</b>	<b>4.55</b>
<b>Coef. de Variación</b>	<b>0.11</b>		

El promedio de la carga última en el bloque ensayado a compresión fue de:

**20,498 kg (45,300 lb)**

El módulo de elasticidad del bloque a compresión fue de:

**3,769.15 MPa (38,433.26 kg/cm<sup>2</sup>; 546,668 PSI)**

**Figura 21. Falla de la muestra 4 en ensayo a compresión.**



Figura 22. Falla de la muestra 5 en ensayo a compresión.



### ENSAYO DE CORTE

Tabla VIII. Resultados ensayo a corte.

<b>ENSAYO A CORTE BLOQUE LIVIANO</b>		
<b>MUESTRA</b>	<b>CARGA(lb)</b>	<b>CARGA(kg)</b>
<b>1</b>	3,800	1,719
<b>2</b>	5,500	2,489
<b>3</b>	5,000	2,262
<b>4</b>	7,000	3,167
<b>5</b>	6,500	2,941
<b>PROMEDIO</b>	5,560	2,516
<b>Desviación Estándar</b>	1262	571
<b>Coef. de Variación</b>	0.25	

El promedio de la carga última en el bloque ensayado a corte fue de:

**2,516 kg (5,560lb)**

El esfuerzo último del bloque ensayado a corte fue de:

**1.90 MPa (19.35 kg/cm<sup>2</sup>; 218 PSI)**

El módulo de elasticidad del bloque a corte fue de:

**1,507.56 MPa (15,373.30 kg/cm<sup>2</sup>; 218,667 PSI)**

**Figura 23. Falla de la muestra 1 en ensayo a corte.**



### 2.2.3 Resultados de los prismas

#### ENSAYO DE ADHERENCIA Y FRICCIÓN

Las áreas de contacto para los prismas ensayados a adherencia y fricción es de:

**Tabla IX. Área de contacto del bloque para ensayo de adherencia.**

<i>AREA DE CONTACTO (cm<sup>2</sup>)</i>					
<b>Muestra</b>	<b>No. De Muestra</b>				
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Área</b>	878.84	893.44	888.32	861.88	847.60

Al realizar el ensayo de adherencia y fricción se aplican dos fuerzas, una lateral y una de confinamiento las cuales nos generan esfuerzos equivalentes a dichas cargas, de allí que obtenemos una gráfica en la cual se encuentra en el eje de las abscisas la carga de confinamiento y en el eje de las ordenadas la carga lateral.

Se plotean los puntos que se generaron de dichas fuerzas para obtener cuál fue la carga máxima lateral con su confinamiento (carga vertical) correspondiente, y unimos dichos puntos obteniendo una tendencia lineal y observar las cargas máximas laterales que se obtendrán hasta observar la falla del bloque.

La pendiente que se obtiene en la recta es el coeficiente de fricción que existe entre la unión del mortero y el bloque, el cual no puede ser mayor que la unidad.

Los resultados correspondientes a cada ensayo de adherencia y fricción son los siguientes:

**Tabla X. Resultados de prisma 1 de ensayo de adherencia.**

<b>ENSAYO 1 ADHERENCIA Y FRICCIÓN BLOQUE LIVIANO</b>			
<b>Esfuerzo de Confinamiento(kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Esfuerzo Lateral(PSI)</b>	<b>Carga de Confinamiento(kg)</b>	<b>Carga Lateral(kg)</b>
0	300	0.00	281.54
50	700	669.00	938.46
100	1,000	1,338.00	1,220.00
140	1,300	1,873.20	1,501.54
180	1,600	2,408.40	1,783.08
220	1,900	2,943.60	2,064.62

**Figura 24. Muestra 1, ensayo de prismas adherencia y fricción.**

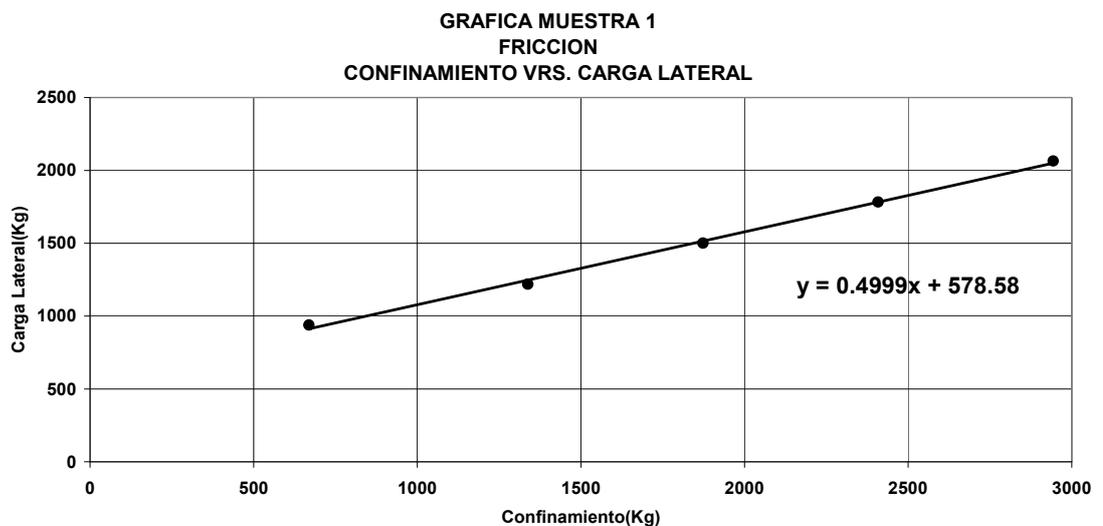


Tabla XI. Resultados de prisma 2 de ensayo de adherencia.

ENSAYO 2 ADHERENCIA Y FRICCIÓN BLOQUE LIVIANO			
<i>Esfuerzo de Confinamiento(kg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Esfuerzo Lateral(PSI)</i>	<i>Carga de Confinamiento(kg)</i>	<i>Carga Lateral(kg)</i>
0	550	0.00	516.15
50	400	669.00	891.54
100	625	1,338.00	1,102.69
140	1,000	1,873.20	1,454.62

Figura 25. Muestra 2, ensayo de prismas adherencia y fricción.

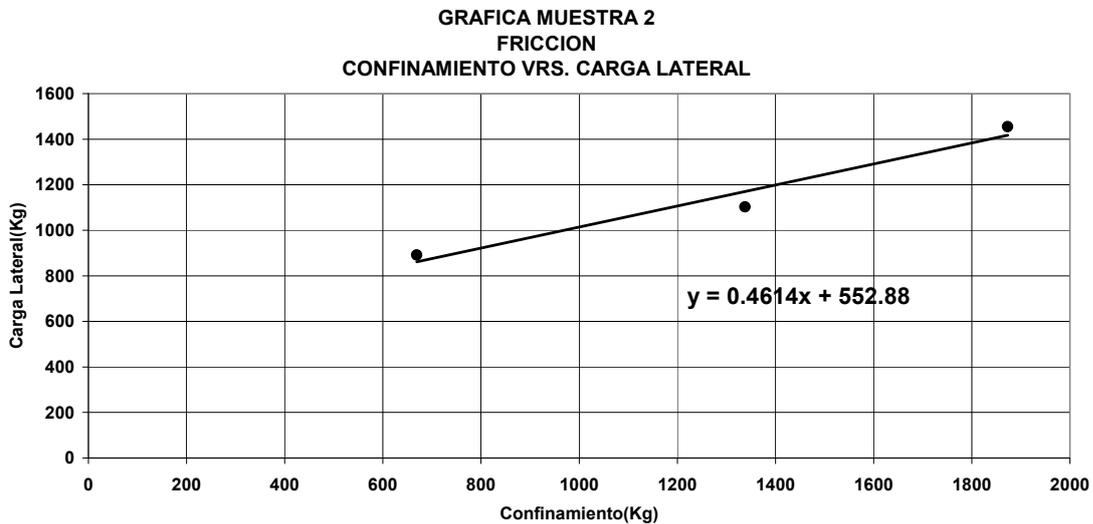


Tabla XII. Resultados de prisma 3 de ensayo de adherencia.

<b>ENSAYO 3 ADHERENCIA Y FRICIÓN BLOQUE LIVIANO</b>			
<b>Esfuerzo de Confinamiento(kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Esfuerzo Lateral(PSI)</b>	<b>Carga de Confinamiento(kg)</b>	<b>Carga Lateral(kg)</b>
0	450	0.00	422.31
50	700	669.00	1,079.23
100	1,000	1,338.00	1,360.77
140	1,350	1,873.20	1,689.23
180	1,700	2,408.40	2,017.69
220	2,000	2,943.60	2,299.23
260	2,400	3,478.80	2,674.62
300	2,800	4,014.00	3,050.00
340	3200	4,549.20	3,425.38

Figura 26. Muestra 3, ensayo de prismas adherencia y fricción.

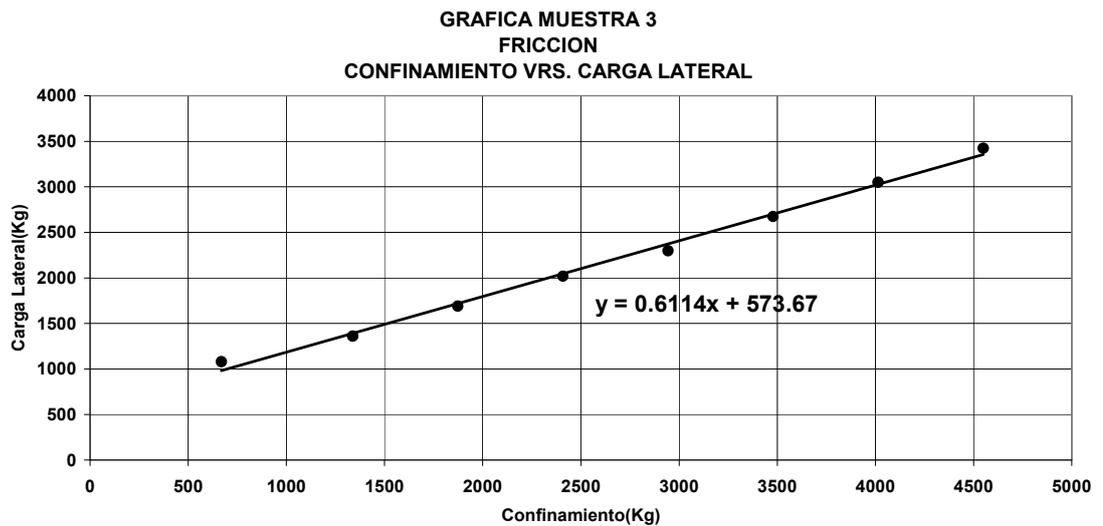


Tabla XIII. Resultados de prisma 4 de ensayo de adherencia.

<b>ENSAYO 4 ADHERENCIA Y FRICIÓN BLOQUE LIVIANO</b>			
<b><i>Esfuerzo de Confinamiento(kg/cm<sup>2</sup>)</i></b>	<b><i>Esfuerzo Lateral(PSI)</i></b>	<b><i>Carga de Confinamiento(kg)</i></b>	<b><i>Carga Lateral(kg)</i></b>
0	300	0.00	281.54
50	600	669.00	844.62
100	850	1,338.00	1,079.23
140	1,150	1,873.20	1,360.77
180	1,500	2,408.40	1,689.23
220	1,850	2,943.60	2,017.69
260	2,300	3,478.80	2,440.00
300	2,650	4,014.00	2,768.46
340	3050	4,549.20	3,143.85

Figura 27. Muestra 4, ensayo de prismas adherencia y fricción.

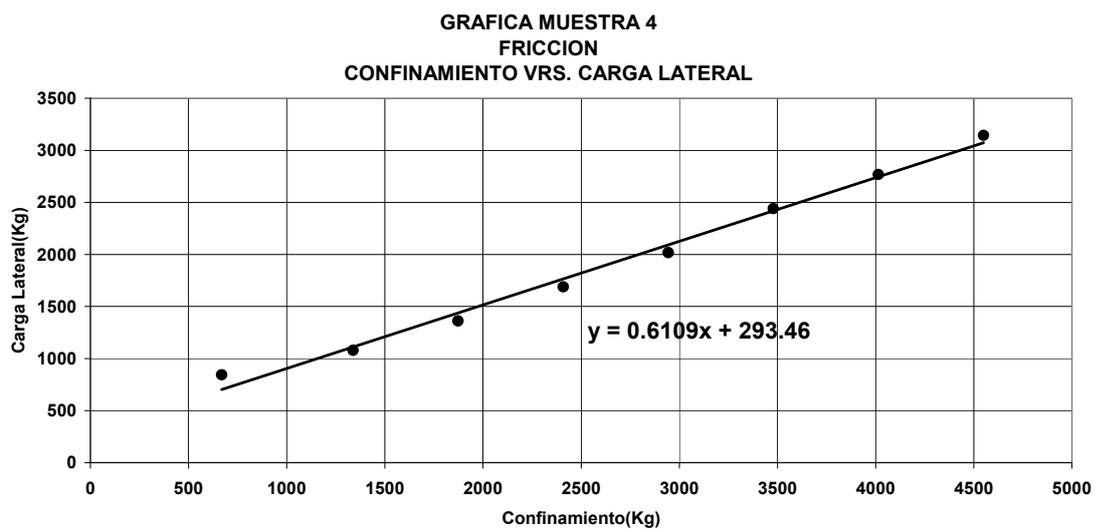
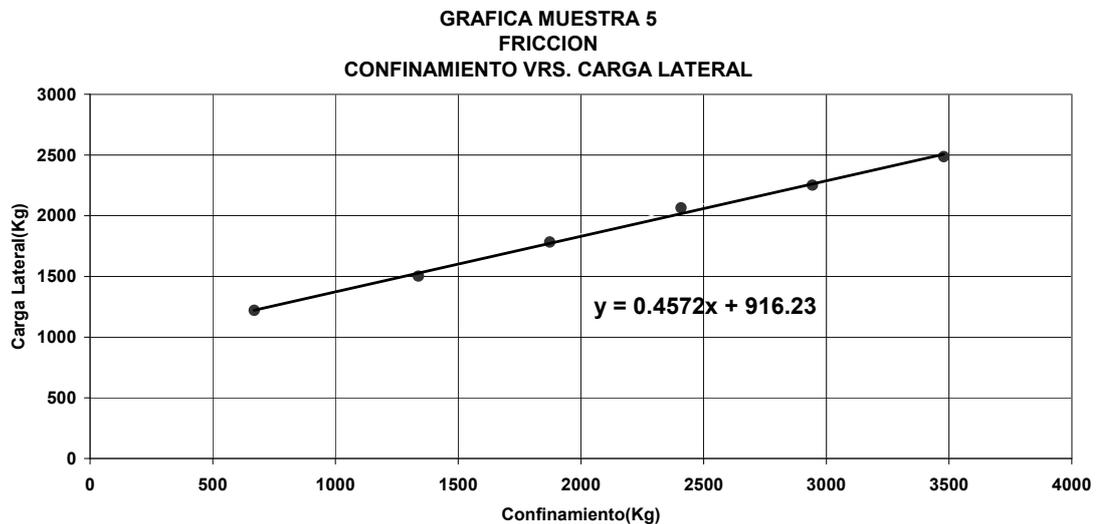


Tabla XIV. Resultados de prisma 5 de ensayo de adherencia.

<b>ENSAYO 5 ADHERENCIA Y FRICIÓN BLOQUE LIVIANO</b>			
<b>Esfuerzo de Confinamiento(kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Esfuerzo Lateral(PSI)</b>	<b>Carga de Confinamiento(kg)</b>	<b>Carga Lateral(kg)</b>
0	700	0.00	656.92
50	600	669.00	1,220.00
100	900	1,338.00	1,501.54
140	1,200	1,873.20	1,783.08
180	1,500	2,408.40	2,064.62
220	1,700	2,943.60	2,252.31
260	1950	3,478.80	2,486.92

Figura 28. Muestra 5, ensayo de prismas adherencia y fricción.



Los coeficientes de fricción de los prismas son los siguientes:

**Tabla XV. Coeficiente de fricción entre bloque y mortero.**

<b>COEFICIENTE DE FRICCIÓN</b>								
<b>Muestra</b>	<b>No. De Muestra</b>					<b>PROMEDIO</b>	<b>DESVIACIÓN ESTANDAR</b>	<b>COEF. DE VARIACIÓN</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>			
<b>28 Dias</b>	0.50	0.46	0.61	0.61	0.46	0.53	0.08	0.12

La fuerza de adherencia de los prismas son las siguientes:

**Tabla XVI. Fuerza de adherencia entre elemento y mortero.**

<b>FUERZA DE ADHERENCIA (kg)</b>					
<b>Muestra</b>	<b>No. De Muestra</b>				
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>28 Dias</b>	2065	1455	3425	3144	2487

Los esfuerzos de adherencia de los prismas son los siguientes:

**Tabla XVII. Esfuerzo de adherencia entre bloque y mortero.**

<b>ESFUERZO DE ADHERENCIA (kg/cm<sup>2</sup>)</b>								
<b>Muestra</b>	<b>No. De Muestra</b>					<b>PROMEDIO</b>	<b>DESVIACIÓN ESTANDAR</b>	<b>COEF. DE VARIACIÓN</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>			
<b>28 Dias</b>	2.35	1.63	3.86	3.65	2.93	2.88	0.92	0.43

**Figura 29. Falla de la muestra 1 en ensayo de adherencia.**



**Figura 30. Falla de la muestra 3 en ensayo de adherencia.**





### **3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

Se puede observar luego de un análisis granulométrico, que la masa de agrupados contiene todos los tamaños de grano, desde el mayor hasta el más pequeño, por lo tanto, se tiene una curva granulométrica continua.

El ensayo de granulometría realizado a los agregados es muy importante debido a la uniformidad de los agregados, porque en base a esto se obtiene una mayor resistencia y los bloques más económicos.

El módulo de finura del agregado fino es de 2.88, el cual se encuentra entre los límites de 2.3 y 3.1 para obtener una arena mejor graduada.

El módulo de finura del agregado grueso es de 5.71.

Los límites del módulo de finura se encuentran en la norma ASTM C 136.

Los dos tipos de agregados se encuentran dentro de los límites establecidos que se mencionan en la figura 1, incluida anteriormente, demostrando que se tiene una granulometría discontinua, esto se observó en las gráficas que fueron proporcionadas por AGREGUA. Dicho análisis fue realizado bajo la norma ASTM C 33.

El tamaño máximo nominal del agregado grueso tiene que ser menor a  $1/5$  de la dimensión menor que la estructura, según ASTM C 33 y ACI-99 Capítulo 3. En el bloque prefabricado el tamaño de la dimensión menor es de 1" de espesor y su quinta parte es de 0.2" y el agregado grueso utilizado es de  $3/8$ ", el equivalente a 0.375", lo cual no cumple con las especificaciones mínimas.

El rango máximo del coeficiente de variación estadístico que se considerarán para este caso es de **0.10** a **0.12**.

El coeficiente de variación del ensayo de compresión al concreto fue de **0.09**, estando dentro del rango considerado.

No existe una variación significativa en el porcentaje de absorción del concreto, la cual es de **0.08**.

El resultado promedio del esfuerzo último del bloque ensayado a compresión es de  $51.24 \text{ kg/cm}^2$ , con lo cual se obtuvo una desviación estándar de 4.55. El coeficiente de variación que existe en su esfuerzo último y su respectivo esfuerzo de compresión es de **0.11**, encontrándose en los límites establecidos.

El esfuerzo neto a compresión del bloque es de  $51.24 \text{ kg/cm}^2$ , siendo una carga definida para un bloque de mampostería de alta resistencia.

Las fallas producidas en los bloques ensayados a compresión son normales, encontrando fisuras en la parte superior de la sección transversal y por aplastamiento en sus esquinas inferiores.

El coeficiente ( $\Phi$ ) del bloque prefabricado de concreto aligerado con poliestireno expandido, con el cual se obtiene la proporcionalidad del esfuerzo cortante con el esfuerzo a compresión es de **2.66**.

El coeficiente de variación de la carga última a cortante del bloque fue de **0.25**, existiendo una variación considerable en los datos obtenidos; el primer ensayo realizado es menor a los demás, siendo las muestras 2, 3 y 5 muy cercanas. Aunque existe una desviación estándar de **571**, la cual se considera grande. Se puede decir que tres de los ensayos se encuentran dentro de los rangos mínimos de un buen ensayo.

Al observar las gráficas podemos observar que la media de la carga lateral máxima se encuentra en 2,404 kilogramos y el promedio en 2,515 kilogramos. Esto quiere decir que es una fuerza de adherencia aceptable entre el mortero y el bloque, esto debido a la poca absorción que existe entre ellos, por el tipo de material que contiene la mayor área que es el poliestireno expandido.

El coeficiente de variación correspondiente al coeficiente de fricción que existe entre el bloque y el mortero fue de **0.12**, encontrándose dentro de los requerimientos.

En la fuerza y el esfuerzo de adherencia se encuentra el coeficiente de variación más alto, de **0.43**, siendo un valor muy alto respecto a los demás ensayos realizados y a los requerimientos correspondientes, esto debido a una gran diferencia en el primer ensayo realizado a los prismas con los demás, pero se puede observar que en los ensayos restantes hay una pequeña diferencia entre ellos, por lo menos formando dos parejas de resultados.



## CONCLUSIONES

1. El tamaño del agregado grueso no cumple con las especificaciones máximas requeridas por la ASTM C 33.
2. La resistencia última de las probetas del concreto que se utilizó en los bloques es mayor a los 3,000 PSI.
3. El porcentaje de absorción del concreto utilizado en los bloques es de 10.48, por lo tanto, cumple con los requerimientos que se requieren los cuales están entre el 10% y 20%.
4. El esfuerzo neto de compresión del bloque es de  $51.24 \text{ kg/cm}^2$ .
5. El esfuerzo bruto de compresión del bloque es de  $18.30 \text{ kg/cm}^2$ .
6. El módulo de elasticidad del esfuerzo a compresión del bloque es de  $38,433.26 \text{ kg/cm}^2$ .
7. El esfuerzo a corte (fuerza lateral) del bloque es de  $19.35 \text{ kg/cm}^2$ .
8. El módulo de cortante del bloque es de  $15,373.30 \text{ kg/cm}^2$ .
9. El coeficiente de fricción entre el bloque prefabricado y el mortero es de 0.53, esto debido a que no existía absorción de agua en la mayor parte del bloque y esto genera una mayor fricción.

10. Debido a que el coeficiente de fricción entre el mortero y la superficie del bloque es mayor al 50%, el esfuerzo de adherencia entre los dos elementos se encuentra con un promedio de  $2.88 \text{ kg/cm}^2$ .
11. El factor económico del bloque es un factor determinante en la fabricación de los mismos, esto debido al precio del poliestireno expandido que en Guatemala es muy costoso.
12. Según las normas del AGIES NR-9 en su capítulo 2.5.6, para un bloque con una resistencia de  $50 \text{ kg/cm}^2$  referidos en su área bruta, se debe utilizar un mortero Tipo I, el cual será con una resistencia mínima de  $35 \text{ kg/cm}^2$ .

## RECOMENDACIONES

1. Buscar el mortero ideal para tener mayor adherencia con el bloque.
2. Dado que la fabricación del bloque es artesanal y se puede hacer en obra; encontrar la manera más factible para su fabricación y utilización de los instrumentos con los que se hicieron.
3. Determinar las dimensiones necesarias para que el bloque prefabricado pueda ayudar en su aspecto económico, debido a el alto precio del poliestireno expandido.
4. Realizar el estudio de los bloques como un sistema de muro, para poder observar su comportamiento con cargas externas que se aplicaran y realizar los ensayos correspondientes al mismo.
5. Utilizar en el concreto del bloque un agregado grueso ideal (1/4") para un mejor rendimiento, esto debido a que el tamaño nominal utilizado es mayor al especificado en las normas.
6. Apoyar en el estudio de los bloques prefabricados, para tener otra opción en la construcción de obras civiles.



## BIBLIOGRAFÍA

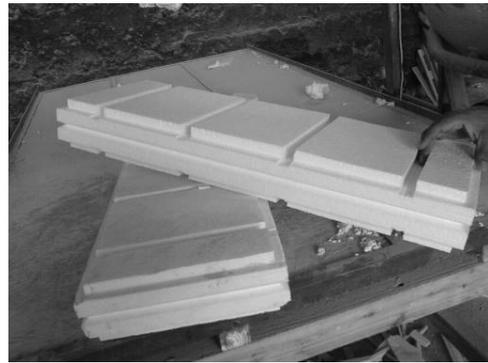
1. AGIES. Normas Estructurales de Diseño y Construcción Recomendadas para la República de Guatemala. NR-4 Requisitos Especiales para vivienda y Otras Construcciones Menores. Guatemala, Junio 2002.
2. American Society for Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standard. Norma: ASTM C-136, Norma: ASTM C-39, Norma: ASTM C-642, Norma: ASTM E-447, Norma: ASTM E-519.
3. Comisión Guatemalteca de Normas –COGUANOR- Ministerio de Economía, Guatemala C.A.
4. Frederick S. Merritt, M. Kt Lostin, Jonathan T. Ricketts. Manual del Ingeniero Civil, cuarta edición. Tomo I. McGraw Hill, 2001.
5. Nitsch Pineda, Juan Estuardo. Guía de Laboratorio para las prácticas de Diseño Estructural en Mampostería. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Noviembre de 1985.
6. Ricaldoni, Julio. Mampostería Estructural. Instituto de Estructuras y Transporte.



## ANEXOS



Proceso de Corte de base.



Base de bloques ya cortados.



Aplicación de carga a compresión.



Falla a compresión de bloque no. 3.



Aplicación de carga a corte.



Falla a corte de bloque no. 5.



Muestras de concreto en el horno.



Horno para ensayo de absorción.



Prismas para ensayo de adherencia. Muestra 1 para ensayo de adherencia.



Muestra 3 para ensayo de adherencia. Falla en prisma 4, ensayo de adherencia.