



## **INFLUENCIA DEL CEMENTO PORTLAND EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA DE COMPRESIÓN SIMPLE Y PERMEABILIDAD EN LOS BTC**

**Rubén Salvador Roux Gutiérrez, José Adán Espuna Mujica, Víctor Manuel García Izaguirre**

Universidad Autónoma de Tamaulipas  
Centro Universitario Tampico – Madero, Tampico, México  
Tel. 52 833 2272828 rroux@uat.edu.mx; jespuna@uat.edu.mx; vgarcia@uat.edu.mx

**Palabras clave:** bloques de tierra comprimida, cemento, vivienda

### **RESUMEN**

La necesidad de edificar un mayor número de viviendas para disminuir el déficit actual en México, así como reducir los costos de construcción, hace necesario buscar alternativas en con materiales tradicionales regionales. Los materiales de tierra entre ellos los Bloques de Tierra Comprimida (BTC) han tenido un auge muy importante en el mundo y en México también, cada día se utiliza más esta técnica de construcción con tierra, para la construcción de viviendas, por lo que se hace necesario buscar mejorar sus características de resistencia a la compresión simple y de resistencia a la humedad para que pueda ser utilizado en zonas húmedas o costeras. El presente trabajo muestra los resultados obtenidos en la investigación de BTC estabilizados con cemento Portland Ordinario (Tipo I), con la finalidad de encontrar la proporción ideal que mejore las características antes mencionadas. En el trabajo se muestran los resultados de las pruebas de absorción, de permeabilidad y de resistencia a la compresión simple de BTC estabilizados con 6%, 8% y 10% de cemento y contrastados con una muestra control la cual no se estabilizó, teniendo incrementos de resistencia a la compresión simple de hasta un 170.06% en estado seco y en estado húmedo de hasta un 67.94% y en cuanto a la permeabilidad los especímenes estuvieron un 56.97% por debajo del límite permitido. La información arrojada sirvió para poder determinar que los BTC estabilizados con cemento Portland pueden ser usados en construcciones en zonas húmedas y costeras con un muy buen comportamiento mecánico.

### **1. INTRODUCCIÓN**

La presente investigación expone una alternativa para poder edificar viviendas de interés social de bajo costo, de la zona Metropolitana de los municipios de Tampico, Madero, Tamaulipas. El déficit de vivienda en México para el 2010 fluctuará entre los 8.5 y 10 millones de unidades (INEGI, 2007), en Tamaulipas es 11,536 y en la Zona Metropolitana de Tampico, Madero y Altamira es de 21,293 unidades (CONAVI, 2001).

Por tales motivos se consideró prioritario buscar una forma eficaz de producción para proveer de vivienda digna que abaratara el costo de la misma y con ello apoyar a un gran número de población con menor poder adquisitivo. La solución para lograr tan difícil tarea fue la de fabricar elementos de construcción al alcance de estas personas a base de tierra arcillosa equiparable al adobe, que contara con características afables de trabajo, y que como material de construcción tuviera presencia en todo el mundo. Se sabe como dato estadístico que más de un tercio de la población del planeta vive en viviendas de ese material.

En México, existe una gran cantidad de ejemplos de lo que es la arquitectura de adobe, todos ellos con características muy particulares de cada región donde se desarrollan. La historia del adobe en nuestro país, data desde los nahuas y los mayas, existiendo hasta la fecha pueblos enteros edificados con adobe, como lo son los casos de Coyoatepec, Cholula y Comalcalco, Paquime, por mencionar algunos.

El enfoque de esta investigación se dirigió al análisis de la fabricación de Bloques de Tierra Comprimida y por ende este dio inicio en la observación de los suelos en la Zona

Metropolitana de Tampico – Madero y Altamira, así como al estudio de las diferentes técnicas de estabilización de características de suelos arcillosos que permitieran modificar en estos, las propiedades no deseadas y a la vez mejorar otras condiciones, tales como la resistencia de compresión y su durabilidad, que dieran como resultado un producto de alta calidad y bajo costo, capaz de ser utilizado en la localidad.

Asimismo, se examinó lo referente al proceso de fabricación denominado “adobe prensado o bloque de suelo cemento”, el cual a se ha observado que da mejores resultados que los procesos tradicionales a mano. Y para finalizar se puntualizan los datos obtenidos en los estudios realizados a los especímenes de prueba, en lo referente a los ensayos por resistencia a la compresión simple, absorción e intemperismo.

## **2. MARCO HISTÓRICO**

A nivel mundial la vivienda ha generado un problema grave, el cual se acrecienta en los países del tercer mundo, principalmente por la falta de recursos económicos – de los propietarios, iniciativa privada y sector público-, con los cuales solucionarlo.

México tiene un déficit de vivienda de 6.0 millones de unidades actualmente, número que se incrementa con el crecimiento de la población, esto indica que los próximos doce años, se tendrán que construirse 5.9 millones y rehabilitar 6.0 millones de unidades más, según estudios realizados por el Instituto Tamaulipeco de la Vivienda y el Urbanismo, publicado en su libro “La casa de tierra”, página 15 (Higueras Gil, 1981).

El problema inflacionario, en el cual el país se encuentra inmerso, ha complicado más la situación; por un lado, el aumento en los costos de los materiales, y por otro la falta de créditos en apoyo para la construcción de viviendas populares, lo que hace necesario plantear alternativas acordes a la economía actual.

Esta panorámica holística, proporciona una idea de las acciones enérgicas que deberán tomarse para por el gobierno, y la iniciativa privada para dar solución a la problemática de la vivienda.

Motivo de análisis es el caso particular de la zona Metropolitana de Tampico, Madero Y Altamira ya que en ella se asienta la cuarta parte de la población del Estado de Tamaulipas, que suma la cantidad 1.1 millones aproximadamente, de donde la económicamente activa representa el 33%, dentro de este sector existe un gran número de personas (36,300 hab.) que gana el salario mínimo o menos, así mismo, de la totalidad sólo el 21% tiene vivienda propia (INEGI, 2000).

Tal complicación se acrecienta si se considera que el sector productivo de la población, únicamente representa el 52% de las personas en edad de trabajar, lo que indica que existe un 48% de habitantes que no cuentan con un ingreso fijo, este hecho hace imposible el poder acceder a mediano plazo a una vivienda digna.

## **3. JUSTIFICACIÓN**

Como se menciono anteriormente los BTC se estabilizan actualmente con cemento Portland Tipo I (CPO-R), sin embargo, los procedimientos de diseño de estabilización no son usados acordes a las características específicas del BTC, de lo anterior, se pretende con esta investigación especificar los procedimientos auténticos de diseño de estabilización con una metodología adecuada que satisfaga las características ideales y específicas de dicho material.

Puede mencionarse las siguientes ventajas de los resultados que se obtuvieron desde el punto de vista constructivo, la conveniencia de conocer las características mecánicas y químicas que se ocasionaron por la utilización del procedimiento para la estabilización de los BTC con cemento Portland Tipo I (CPO-R) que permita conocer las ventajas y desventajas de dicha estabilización; así como los beneficios que ofrece esta opción confiable de construcción con un material alternativo; tomado en consideración el contexto social y

económico del estado de Tamaulipas en donde se hace necesario dotar de vivienda digna, de bajo costo y calidad a una población aproximada de 175 000 habitantes que demandan vivienda.

#### **4. OBJETIVOS**

##### **4.1. General**

Caracterizar el procedimiento correcto de utilización como estabilizador el cemento Portland Tipo I (CPO-R) para la fabricación de BTC.

##### **4.2. Específicos**

- a) Identificar las características mecánicas producidas por la estabilización de los BTC con el cemento Portland Tipo I (CPO-R) como son: resistencia a la compresión simple, resistencia a la tensión y durabilidad.
- b) Identificación de las características químicas que se producen por la estabilización del cemento Portland Tipo I (CPO-R) como son: potencial Ph, reacción a los minerales de las arcillas con el cemento, resistencia a los ácidos.
- c) Identificación de las características físicas que se producen por la estabilización del cemento Portland Tipo I (CPO-R) como son: permeabilidad, absorción y densidad.
- d) Identificación de las características organolépticas que se producen por la estabilización del cemento Portland Tipo I (CPO-R) como son: color y uniformidad de medidas

#### **5. DISEÑO METODOLÓGICO**

La investigación que se desarrollo se considera cuasi-experimental; longitudinal ya que se recolectaron datos en diversos momentos; prospectiva, ya que en la línea del tiempo se realizará a futuro.

##### **5.1. Método Teórico**

Trabajos preliminares – Primeramente se analizaron las características granulométricas y plásticas del suelo a utilizar para la estabilización con cemento, el cual deberá de cumplir las Normas Mexicanas (NMX); así mismo se determino el peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima a través de la prueba Proctor.

Fabricación de las muestras – Una vez hecho los anteriores trabajos, se procedió a la fabricación del grupo control (sin cemento) y los grupos experimento conformados por tres muestras de treinta especímenes cada uno, estabilizados con cemento en porcentaje de 6%, 8% y 10% en peso.

Pruebas a las muestras – Las muestras fabricadas se sometieron a las prueba de resistencia a la compresión simple según la norma NMX-C-36 (ONNCCE, 2004); a la prueba de absorción según la norma NMX-C-37 (ONNCCE, 2005); a la prueba de resistencia a la flexión según norma NMX-303 (ONNCCE, 1986); prueba de permeabilidad, prueba de adherencia. Para posteriormente mostrar los resultados obtenidos de cada una de ellas y así poder emitir conclusiones de la investigación

##### **5.2. Método Analítico**

Prueba granulométrica – Se tomaron 500 g de suelo y se pasaron a través de las mallas 3/8", 4, 8, 16, 30, 40, 100 y 200, para lo cual se utilizaron mallas estandarizadas según Norma de *la American Society for Testing and Materials* (ASTM) número ASTM-E-11, para posteriormente pesar la cantidad de suelo retenido en cada una de ellas, para lo cual se utilizo una balanza granatoria de 1,0 gramos de aproximación.

Prueba de límites de consistencia – Estas pruebas tienen por objeto determinar la plasticidad de la porción de material que pasa la malla No. 40 del suelo empleado, la plasticidad se considera que se debe a la presencia de una película gelatinosa que rodea a

los granos de suelo fino. En algunos casos esta metería gelatinosa pierde poder de adquirir agua, cuando ha sido secada totalmente; de aquí la necesidad de hacer las pruebas de Atterberg; las cuales son, el límite líquido. El límite plástico y el índice de plasticidad.

Límite líquido – Se define como el estado de un suelo para lo cual se considera que existe una división entre la consistencia plástica y semilíquida de un suelo.

Límite plástico – Es el estado en que se considera que existe una división entre las consistencias plásticas y semisólidas de un suelo.

Contracción lineal – Es la reducción del volumen de un suelo, medida en una de sus dimensiones y expresada como porcentaje de la dimensión original.

Para determinar el límite líquido, el límite plástico, la contracción lineal se requiere de lo siguiente: una capsula de porcelana de 12 cm, de diámetro, una espátula de hoja de acero flexible de 12 cm, de ancho, un aparato de copa de Casagrande para determinar el límite líquido, según la norma número ASTM-D-436, una placa de vidrio de 40 cm x 40 cm x 1.5 cm, para determinar el límite plástico, según norma ASTM-D-4318, moldes de lámina galvanizada del No. 16, de 10 cm x 2 cm x 2 cm, de dimensiones interiores para determinar la contracción lineal, un calibrador de vernier del tipo Máuser, un horno que mantenga una temperatura constante entre 100°C y 110°C y una balanza granatoria de 0.01 gramos de sensibilidad.

Una vez que se realizaron las pruebas anteriores se procedió a realizar las pruebas de compactación; estas pruebas de compactación conocidas con el nombre de prueba Proctor, se refieren a la determinación del pesos por unidad de volumen, así como la resistencia a la penetración de un suelo que ha sido compactado por un procedimiento definido, para distintos contenidos de humedad.

Los objetivos de la prueba son los siguientes:

Determinar el peso volumétrico máximo que puede alcanzar el material de que se trate así como la humedad optima a que debe hacerse la compactación.

Determinar el grado de compactación alcanzado por el material durante la construcción, relacionado con el peso volumétrico obtenido en el lugar con el peso volumétrico máximo Proctor.

Para realizar la prueba se requiere el siguiente equipo: un molde de compactación, constituido por un cilindro metálico de 101.6 mm de diámetro, por 116.8 mm de altura. Este cilindro está provisto de una base construida con placa metálica, a la cual puede asegurarse convenientemente y por una extensión removible de 63.5 mm, de diámetro, según la norma número ASTM D-558. Una regla metálica con arista cortante de 25 cm, de longitud aproximadamente, una balanza de 20 kg de capacidad y de 1.0 gramo de aproximación, una balanza granatoria de 200 gramos de capacidad y 0,01 gramos de sensibilidad; un horno que mantenga una temperatura constante entre 100°C y 150°C, cápsulas para determinación de humedad, charolas de lámina, una probeta graduada de 500 cm<sup>3</sup>, una probeta graduada de 1000 cm<sup>3</sup>.

Una vez realizadas las pruebas de granulometría, de plasticidad y las de compactación se procedió a fabricar las poblaciones control y experimentales en una máquina adobera Ital-Mex, modelo Adopress 2000, también se utilizo una mezcladora de turbina, marca Ital-Mex, modelo Miuser-400, para realizar las pruebas de compresión simple, pruebas de tensión, pruebas de adherencia, pruebas de absorción y de permeabilidad.

### 5.3 Diseño experimental

Para realizar el estudio se tomó una muestra de arcilla de la parte Poniente de la ciudad, de terrenos colindantes con un Conjunto Habitacional de INFONAVIT.

A dicha arcilla se le determinaron los límites líquidos, el límite plástico y el índice de plasticidad, el cual se clasificó con la tabla de plasticidad. Subsiguientemente se realizaron

las pruebas de contracción lineal, así como la prueba de compactación Proctor, para obtener la humedad óptima de compactación.

Una vez realizadas las pruebas anteriores a la arcilla se mezcló con arena de río, en proporción de 50% y 50% respectivamente, para proceder a fabricar tres poblaciones de prueba las cuales contaron con un número de especímenes de 40 cada uno.

Dicha población fue estabilizada con cemento en las siguientes proporciones: la primera con un 6% de cemento en peso, la segunda con un 8% en peso, y la tercera con un 10% de cemento en peso. Una vez fabricadas las poblaciones, se les dejó secar a la sombra durante tres días, y posteriormente al sol durante doce días, más adelante se tomaron 30 especímenes aleatoriamente de cada población, y se realizó la prueba de resistencia a la compresión, verificando que en todo momento del diseño, siempre se trabajara en estado seco con la mitad de ellos, y la otra mitad se colocara en agua durante 24 horas, para inmediatamente, hacer la prueba de compresión simple en estado húmedo, apegándose a las normas NMX-C-36-2004 y NMX-C-6-1976.

Realizado lo anterior, se tomaron 5 especímenes aleatoriamente de cada población y se les colocó en agua durante 24 horas, para realizar la prueba de absorción, acoplándose con las normas NMX-C-37-2005 y NMX-C-6-1976.

Asimismo se realizó una prueba de intemperismo, sumergiendo los últimos 5 especímenes en agua durante 3 semanas, para determinar los deterioros que pudo tener el espécimen, y comprobar la resistencia a la compresión simple, anteriormente mencionada.

Se realizó el análisis económico del producto, obteniéndose, costos de insumos, de horario de maquinaria además de aplicarse cargos por indirectos y utilidad. Se debe tener en cuenta que los resultados obtenidos, en todo caso deberán de ser comparados contra otros materiales existentes en el mercado de la región.

Con los resultados finales obtenidos de las pruebas a la compresión simple en estado seco y húmedo se realizó el proceso estadístico empleando el procedimiento de la "F" de Fisher, para aprobar o desaprobar la hipótesis.

#### **5.4 Muestreo**

El muestreo que se aplicó apegándose a las Normas Mexicanas, las cuales indicaron: "se recomiendan que deben de tomarse aleatoriamente; recomendándose tomar 10 piezas como mínimo por cada lote de 10 piezas o fracción" (NMX-C-10-1986, p. 6).

Lo anterior se ratifica con la ponencia denominada "Código y Lineamiento Relativos a la Intensidad de Muestreo de los Materiales Utilizados en la construcción de Viviendas", presentada por el Ing. Raúl Menchaca Menchaca, en el Tercer Simposium CIB/RILEM, realizado en la Ciudad de México, D.F. el día 9 de noviembre de 1989, en donde en la página 126 del Vol. II alude a lo siguiente: En el caso de tabiques de barro se acostumbra considerar una muestra integrada de 10 piezas, 5 para obtener resistencia a la compresión simple y 5 para obtener su capacidad de absorción, tomando como promedio de utilización el promedio equivalente a cada 5 viviendas.

#### **5.5 Resistencia a la compresión simple**

De acuerdo con la norma NMX-C-36-2004 la cual dice:

"La máquina de prueba debería estar equipada con dos bloques de acero, cuya dureza Rockwell C, no sea menor de 60 y de dureza Brinell N 620; una de las cuales tendría asiento esférico que transmitiera la carga a la superficie de la probeta, y el otro en un bloque plano rígido en el cual se destacó la probeta.

Cuando el área de aplicación de la carga de los bloques de acero no fue suficiente para cubrir el área que va cargar en la probeta deben colocarse placas adicionales de acero que cumplieran con los requisitos que se anotaron en el párrafo siguiente, estas se colocaron

entre los bloques de carga y la probeta cabeceada de modo que el centroide de la superficie a la cual se le aplicó la carga y se alineó con el centro de los bloques de la máquina.

### 5.5.1. Placas y bloques de prueba

Las superficies de los bloques y placas de carga no deberían diferir de un plano en más de 0,025 mm en cualquiera de las dimensiones y en 152.4 mm en el centro de la esfera del bloque superior, deberían coincidir con el centro de la carga. Si se usara placa de carga, el centro de la esfera, debería caer en una línea que pasara verticalmente en el centroide de la carga de la probeta.

El bloque con asiento esférico debería mantenerse fijo en su sitio, esto obligaría a girarlo ligeramente en cualquier dirección. El diámetro de la cara de la carga de los bloques, debería entonces ser cuando menos de 16 cm. Cuando se emplearan placas de acero entre los bloques de carga y la probeta, estos deberían tener un espesor igual, por lo menos de la tercera parte de la distancia de la orilla del bloque de carga a la esquina mas distante de la probeta” (NMX-C-36-2004; p. 2).

### 5.5.2. Procedimiento

De acuerdo con la norma NMX-C-36-2004 para hacer la prueba de resistencia a la compresión simple, se colocó la probeta con el centroide de su superficie para recibir una carga alineada verticalmente con el centro del bloque de carga –de acero–, de la maquina de prueba con las características que se describieron.

Una vez colocada la probeta se aplicó la mitad de la carga que se esperaba como máximo, a una velocidad conveniente, para posteriormente ajustar los controles de la máquina y dar una velocidad uniforme de traslado de la cabeza móvil, de tal manera que el resto de la carga no fuera aplicada en menos de un minuto, ni en más de dos.

### 5.5.3. Cálculos de resultados

Para calcular los resultados se tomó la carga máxima en kgf, y se dividió entre el área transversal de la probeta, siendo esta, la total de una sección perpendicular a la dirección de la carga, incluyendo los huecos, a menos que estos estuvieran ocupados por porciones de unidades adyacentes.

También se pudo obtener la resistencia a la compresión al área neta; calculándola de la siguiente manera (NMX-C-36-2004):

$$AN = At - Ah$$

Donde:

An= área neta

At= área total de la superficie de la carga

Ah= área de los huecos

### 5.5.4. Especificaciones

Según la norma NMX-C-6-1976, la resistencia a la compresión simple debía de ser como mínimo para tabiques MqM-D de 50 kgf/cm<sup>2</sup>, en promedio de 5 piezas y de 40 kgf/cm<sup>2</sup>, individualmente.

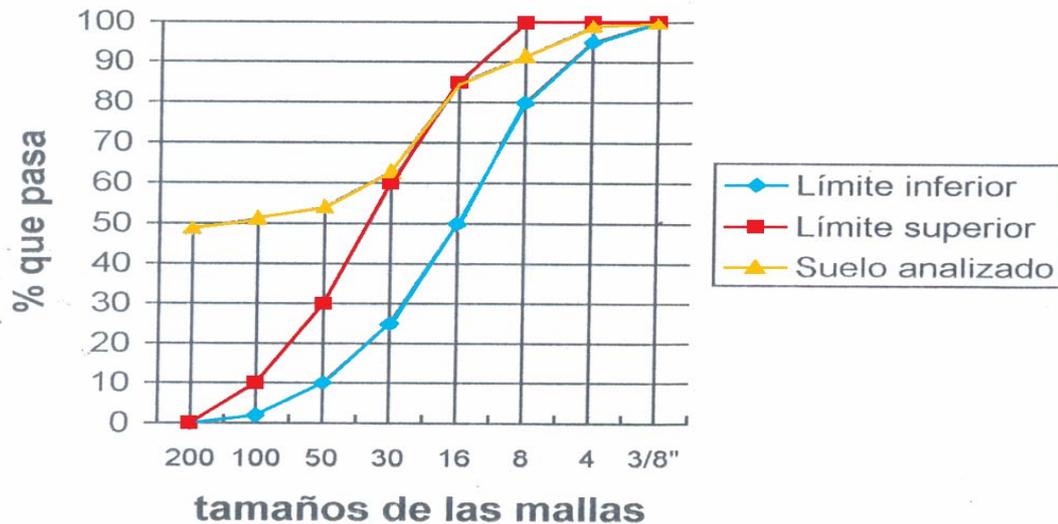
## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1 Resultados preliminares

Los resultados arrojados por la prueba de granulometría que el suelo es mal graduado, el cual no cumple las especificaciones granulométricas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) como se muestra en la gráfica 1, donde se indican las curvas ideales para este tipo de suelo por lo que se hace necesario hacer mezclas con otro suelo para que la granulometría cumpla con especificaciones, se determina hacer una mezcla 50% y 50%.

Con respecto a la prueba Proctor, se obtuvo el siguiente resultado: el peso volumétrico seco máximo fue de 1.720 kg/m<sup>3</sup> y la humedad óptima fue del 14,50% en peso.

En cuanto a la plasticidad los límites de consistencia del suelo para obtener su clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) los resultados fueron los siguientes: límite líquido 26,1%, límite plástico 20,3%, índice de plasticidad 5,8%, contracción lineal 1,8%. Estos datos nos arrojan que se el suelo fino es un limo de baja plasticidad.



**Gráfica 1** – Gráfica granulométrica de suelo analizado

**6.2 Pruebas de compresión, flexión y absorción**

Se realizaron las pruebas de compresión simple utilizando una prensa hidráulica marca Forney, con capacidad de 150,000 kgf, dicha prueba se les realizó a las poblaciones sin cemento, con 6% de cemento, con 8% de cemento y con 10% de cemento, los resultados y promedios, en estado seco y húmedo inmersos durante 24 horas se muestran a continuación (ver tablas 1, 2 y 3).

Las dimensiones de los especímenes (BTC) son: 14 cm de ancho; 28 cm de largo; 10 cm de alto. Para la mezcla se utilizó 99,33 kg de arcilla, 99,33 kg de arena y 20,86 kg de agua, variándose la proporción de cemento.



**Figura 1** – BTC estabilizados con cemento Portland y sumergidos en agua durante 24 horas. Foto: Rubén Roux



**Figura 2** – BTC probados a compresión en estado húmedo. Foto: Rubén Roux

En cuanto a la prueba de absorción se hizo, conforme a la Norma Oficial Mexicana, utilizándose 5 especímenes de cada una de las poblaciones fabricadas, los resultados se indican a continuación (tabla 4).

**Tabla 1** – Resistencia a la compresión simple en estado seco

Numero de espécimen	Resistencia a la compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			
	0% cemento	6% cemento	8% cemento	10% cemento
1	35,71	67,60	49,74	73,98
2	25,51	73,98	77,81	80,36
3	38,27	73,21	102,04	96,94
4	31,89	74,74	66,33	76,53
5	30,61	79,08	73,98	99,49
6	24,23	86,99	66,33	91,84
7	28,06	76,53	90,56	91,84
8	36,99	70,15	58,67	102,04
9	30,61	76,53	107,14	91,84
10	30,51	79,08	90,56	108,42
<b>Promedio</b>	<b>31,23</b>	<b>75,79</b>	<b>78,32</b>	<b>91,33</b>
Desv. Estándar	4,67	5,36	18,86	11,28
Coef. Var (%)	15	7	24	12

**Tabla 2** – Resistencia a la compresión simple en estado húmedo

Numero de espécimen	Resistencia a la compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )		
	6% cemento	8% cemento	10% cemento
1	67,60	51,02	73,98
2	44,64	28,06	63,78
3	68,88	26,79	57,40
4	39,54	35,71	58,67
5	51,02	45,92	54,85
<b>Promedio</b>	<b>54,34</b>	<b>37,50</b>	<b>61,73</b>
Desv. Estándar	13,34	10,73	7,58
Coef. Var (%)	25	29	12

**Tabla 3** – Resistencia a la flexión. Edad: 10 días

Numero de espécimen	Resistencia a la flexión (kgf/cm <sup>2</sup> ) <sup>1</sup>			
	0% cemento	6% cemento	8% cemento	10% cemento
1	4,07	10,17	11,14	13,98
2	2,03	12,20	12,73	14,23
3	2,03	10,14	11,97	14,15
4	2,03	10,10	10,89	14,07
5	2,03	10,13	10,94	13,89
6	2,03	9,77	10,86	13,78
7	4,07	9,87	10,68	14,26
8	2,03	10,07	10,57	14,08
9	2,03	10,24	11,13	13,99
10	2,03	10,32	11,45	14,07
<b>Promedio</b>	<b>2,23</b>	<b>10,30</b>	<b>11,23</b>	<b>14,05</b>
Desv. Estándar	0,86	0,69	0,66	0,15
Coef. Var (%)	35	7	6	1

1 - Esfuerzo máximo normativo: 5,35 kgf/cm<sup>2</sup>**Tabla 4** – Prueba de absorción

Numero de espécimen	Absorción (%)		
	6% cemento	8% cemento	10% cemento
1	6,29	5,56	3,77
2	8,24	5,17	3,85
3	9,41	5,56	5,88
4	4,11	12,00	5,88
5	6,42	7,41	3,77
<b>Promedio</b>	<b>6,89</b>	<b>7,14</b>	<b>5,45</b>
Desv. Estándar	2,03	2,85	1,14
Coef. Var (%)	29	40	25

La población con cero de cemento no se le pudieron hacer las pruebas ya que no soporto la inmersión en agua, las demás poblaciones quedaron por debajo de lo que marca la norma en cuanto a la absorción cuyo límite es del 20%.

Los resultados de las pruebas de permeabilidad se le realizaron a un espécimen de cada población, los cuales no tuvieron permeabilidad importante, durante el periodo de prueba.

Las pruebas de ácidos arrojaron los siguientes resultados:

- a) BTC sin cemento: Notorio cambio de color de amarillo a naranja sin ningún otro cambio.
- b) BTC con 6% de cemento: Ligero ennegrecimiento sobre las parte planas del bloque.
- c) BTC con 8% de cemento: Cambio ligero de color amarillo a naranja en zonas rugosas y ennegrecimiento en la zona lisa de la pared de la muestra.
- d) BTC con 10% de cemento: Sin cambio aparente.

La prueba se llevo a cabo con azufre en un baso de precipitado sin humedad que la del medio ambiente interna del vaso, en el laboratorio los BTC tomaron coloración un poco distinta por el medio ambiente interno del mismo, ya que al cerrar el cubículo se concentran las vaporizaciones de los diversos reactivos existentes.

La prueba se llevo a cabo con azufre quemado en un vaso de precipitado sin otra humedad que el medio ambiente interno del vaso, en el laboratorio los BTC formaron coloración un poco distinta por el medio ambiente interior del mismo, ya que al cerrar el cubículo se concentran las vaporizaciones de los diversos reactivos existentes.

La prueba de colorimetría arrojó los siguientes resultados: Para los BTC sin cemento, el color que adquirieron una vez secos fue ocre rojizo; para los BTC con 6%, 8% y 10% el color que adquirieron fue un beige grisáceo, variando solamente la tonalidad de más claro a más oscuro dependiendo del porcentaje de cemento aplicado.

La prueba de dimensiones arrojó los siguientes resultados: Los BTC sin cemento tuvieron una variación del estado húmedo al seco del 6.66% en sus tres dimensiones (ancho, largo y alto) los BTC con 6%, 8% y 10% de cemento no sufrieron ninguna variación del esto húmedo al seco.

## 7. CONCLUSIONES

Una vez realizadas todas las pruebas a las diferentes poblaciones se puede concluir lo siguiente:

Con relación a la resistencia a la compresión simple en estado seco:

- Los BTC con 6% de cemento incrementaron la resistencia en un 152%
- Los BTC con 8% de cemento incrementaron la resistencia en un 157%
- Los BTC con 10% de cemento incrementaron la resistencia en un 201%

Con relación a la resistencia a la compresión simple en estado húmedo:

- Los BTC con 6% de cemento incrementaron la resistencia en un 23%
- Los BTC con 8% de cemento incrementaron la resistencia en un 78%
- Los BTC con 10% de cemento incrementaron la resistencia en un 106%

Con respecto a la absorción la influencia del cemento fue fundamental, ya que la muestra control no soporto al inmersión en agua y las estabilizadas con cemento mostraron los siguientes resultados:

- Los BTC con 6% de cemento estuvieron un 33% por debajo del límite permitido
- Los BTC con 8% de cemento estuvieron un 63% por debajo del límite permitido

- Los BTC con 10% de cemento estuvieron un 75% por debajo del límite permitido

Por lo anteriormente expuesto se puede determinar que la influencia del cemento Portland Tipo I, en las arcillas con las que se realizan los BTC, influye positivamente en las características físicas, mecánicas y químicas de estos.

Se puede determina también que la estabilización con cemento a partir de un 6% en peso, ya arroja muy buenos resultados para la estabilización de los BTC y no es costosa. Que si bien la que mejores resultados presenta es la estabilización con 10% de cemento en peso, también esta incrementa el costo del BTC.

## **BIBLIOGRAFIA**

ASTM (2004). ASTM-E-11, Standard Specification for Wire Cloth and Sieves for Testing Purposes. USA: ASTM.

ASTM (2004). ASTM D 558 Standard Test Methods for Moisture-Density (Unit Weight) Relations of Soil-Cement Mixtures. USA: ASTM.

ASTM (2005). ASTM-D-4318, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. USA: ASTM.

CONAVI (2001). Rezago habitacional. México: SEDESOL.

HIGUERAS GIL, Sergio (1981). La casa de tierra. Plan estatal de vivienda popular y campesina. México: ITAVU.

INEGI (2001). XII Censo General de Población y Vivienda, 2000. México: INEGI

INEGI. (2007). CONTEOS 2005. MÉXICO: INEGI.

ONNCCE (1986). Norma Mexicana, NMX-303-1986 Industria de la construcción – Concreto – Determinación de la resistencia a la flexión usando una viga simple con carga en el centro del claro. México: ONNCCE

ONNCCE (1976), Norma Mexicana, NMX-C-6-1976. Industria de la Construcción – Ladrillo y bloques cerámicos de barro, arcilla o similares. ONNCCE.

ONNCCE (1986). Norma Mexicana, NMX-C-010-1986. Industria de la Construcción – Concreto, bloques, ladrillos, tabiques y tabicones. México: ONNCCE.

ONNCCE (2004). Norma Mexicana, NMX-C-036-2004 Industria de la construcción – Bloques, tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines – Resistencia a la compresión –Método de prueba. México: ONNCCE

ONNCCE (2005). Norma Mexicana, NMX-C-037-2005 Industria de la construcción – Bloques, ladrillos o tabiques y tabicones – Determinación de la absorción de agua y absorción inicial de agua. México: ONNCCE

## **AUTORES**

Rubén Salvador Roux Gutiérrez, doctor, líder del Cuerpo Académico de Diseño y Edificación Sustentable de la FADU, jefe de investigación de la FADU, miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I. e-mail: rroux@uat.edu.mx, rroux33@hotmail.com

José Adán Espuna Mujica, doctor, miembro del Cuerpo Académico de Diseño y Edificación Sustentable de la FADU, maestro Investigador con Perfil PROMEP. E-mail: jespuna@uat.edu.mx, tampaonj@hotmail.com

Víctor Manuel García Izaguirre, doctor, miembro del Cuerpo Académico de Diseño y Edificación Sustentable de la FADU, jefe de la División de Posgrado y Educación Continua de la FADU, maestro Investigador con Perfil PROMEP. e-mail: vgarcia@uat.edu.mx, vgarcia\_i@hotmail.com.