

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA

Estudios con Reconocimiento de Validez Oficial por Decreto Presidencial
del 3 de abril de 1981



“PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA DE
PEAD RECICLADO, COMPARATIVA ECONÓMICA”

TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRO EN INGENIERÍA CON ESPECIALIDAD EN
ADMINISTRACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

P r e s e n t a

JULIO CÉSAR DURÓN GONZÁLEZ

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Guillermo Celis Colín

LECTORES

M. en C. Manuel del Moral Dávila

Mtro. Uriel Texcalpa Villarruel

México, D.F.

2007

"LA PIEDRA QUE FUE DESECHADA POR LOS CONSTRUCTORES,
SE HA CONVERTIDO EN LA PIEDRA ANGULAR".

índice

Introducción	6
1.- Resistencia de Diseño a Compresión (f_p^*) del Tabique de PEAD Reciclado	13
2.- Resistencia de Diseño a Compresión Diagonal (V_m^*)	21
3.- Resistencia de Diseño a Compresión de la Mampostería (f_m^*)	28
4.- Módulo de Elasticidad de la Mampostería de PEAD (E_{mp})	34
5.- Resistencia a la Compresión de Cilindros de PEAD (f'_p)	40
6.- Comparativa Económica	43
7.- Conclusiones	51
Bibliografía	57

SIMBOLOGÍA

<i>N.T.C.</i>	Normas Técnicas Complementarias.
<i>R.C.D.F.</i>	Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.
MPa	Mega Pascal. (1 Mega Pascal = 10 kg/cm ²)
PEAD	Polietileno de Alta Densidad.
PEBD	Polietileno de Baja Densidad.
PVC	Policloruro de Vinilo.
PP	Polipropileno.
PS	Poliestireno.
PET	Polietilentereftalato.
IEPS	Impuesto Especial sobre Prestación de Servicios.
<i>U.A.E.M.</i>	Universidad Autónoma del Estado de México.
<i>S.M.P.A.</i>	Sistema de Construcción de Vivienda a Base de Mampostería de Plástico y Acero Estructural de Refuerzo.
O.N.N.C.C.E.	Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción.
f_p^*	Resistencia de Diseño a Compresión de las Piezas referida al área bruta.
$\overline{f_p^*}$	Media de la Resistencia de Diseño a Compresión de las Piezas.
C_p	Coficiente de Variación de la Resistencia a Compresión de las Piezas.
f_j^*	Resistencia Nominal en Compresión del Mortero (Tipo I, II ó III).
Q	Factor de Comportamiento Sísmico.
V_m^*	Resistencia de Diseño a Compresión Diagonal de muretes, sobre el área bruta medida a lo largo de la diagonal paralela a la carga.
$\overline{V_m}$	Media de la Resistencia a Compresión Diagonal de muretes, sobre el área bruta medida a lo largo de la diagonal paralela a la carga.
C_v	Coficiente de Variación de la Resistencia a Compresión Diagonal de muretes de mampostería.

SIMBOLOGÍA

f_m^*	Resistencia de Diseño a Compresión de muretes, referida al área bruta.
$\overline{f_m}$	Media de la Resistencia de Diseño a Compresión de muretes, corregida por su relación altura a espesor y referida al área bruta.
C_m	Coefficiente de Variación de la Resistencia a Compresión de muretes de mampostería.
E_{mp}	Módulo de Elasticidad de la Mampostería de PEAD.
E_m	Módulo de Elasticidad de la Mampostería.
f_p	Resistencia a Compresión del PEAD Sólido Reciclado.
E_c	Módulo de Elasticidad del Concreto.
f_c	Resistencia Especificada a Compresión del Concreto.
L_c	Longitud Calibrada (vertical).
Kgf	Kilogramo Fuerza.
σ	Esfuerzo.
ε	Deformación Unitaria.

INTRODUCCIÓN

El atractivo del presente tema, reside por un lado, en la necesidad de estudiar nuevos materiales para la construcción, y por el otro, en poder convertir desperdicios plásticos en piezas de mampostería útiles para la construcción de muros en edificaciones. Estos desechos plásticos son generados en exceso, de difícil manejo y con un índice muy bajo de reciclamiento. Se estima que el 11% de la basura que se genera en México está compuesta por residuos plásticos, recolectándose para fines de reciclamiento, sólo el 12%¹.

Los desperdicios plásticos están básicamente formados por: polietileno de alta densidad (PEAD), polietileno de baja densidad (PEBD), policloruro de vinilo (PVC), polipropileno (PP), poliestireno (PS) y polietilentereftalato (PET)². La tendencia mundial se encamina a reutilizar este tipo de desechos para ser incorporados nuevamente en la cadena productiva. Prueba de ello, es que en nuestro país se están buscando estímulos fiscales a compañías refresqueras, para que el IEPS (*Impuesto Especial sobre Producción y Servicios*), sea más bajo por utilizar envases de plástico reciclado, que por hacerlo con envases provenientes de materia prima virgen. Otro ejemplo del interés por reciclar este tipo de materiales, es la fabricación de un panel ecológico de 1.22 X 2.44 metros X 3” de espesor, a partir de la combinación de 95% plástico reciclado y un 5% de resina³. También en la Universidad Iberoamericana Ciudad de México, se acaba de inaugurar una planta de reciclado de PET.

El tabique de PEAD (Polietileno de Alta Densidad), se obtiene a partir del reciclaje de desechos plásticos como envases vacíos de: cloro, shampoo, alcohol, frutsi, pau-pau, anticongelante, aceite para automóviles, suavizante de ropa, garrafones de agua y de aceite comestible de 5 litros, etc.

1 Instituto Nacional de Recicladores, A.C. (INARE 2000).

2 Instituto Nacional de Ecología, “Situación de los Envases Plásticos en México”, www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/422/envases.html

3 El Universal / Francisco Rosas, “Reciclan y Construyen”, 11/Mayo/2007.

Estos envases son procesados hasta convertirse en tabiques huecos, que están provistos de un machihembrado doble con postes y orificios, los que pueden ser ensamblados de manera traslapada o cuatrapeada, una pieza encima de la otra, conformando muros, los mismos que son recubiertos con metal desplegado y repellados con mortero.

El proceso de fabricación del tabique de PEAD reciclado se denomina extrusión-soplado y se puede describir como sigue:

Ya que se cuenta con la recolección y el acopio de los envases provenientes de la basura antes mencionados, empieza un proceso de molienda hasta obtener un tamaño de hojuela ≤ 4 mm, después continúa un proceso de lavado y secado. La hojuela se coloca en una tolva, donde, por medio de un aparato llamado "struder", se inyecta la hojuela derretida, que es transportada por un tornillo sin-fin al cabezal, y por presión se abastece a una manguera que expulsa como un "churro", el cual entra a un molde, enseguida se inyecta aire tomando la forma, luego se enfría durante aproximadamente 20 segundos y sale de la máquina. Para entonces la pieza de PEAD pasó de una temperatura de 200 °C a una temperatura ligeramente arriba de la ambiente, esto permite tomar con las manos a la pieza recién salida, para cortar las orillas manualmente, finalmente, se estiba y se empaqueta.

Según el CONAFOVI (*Consejo Nacional para el Fomento a la Vivienda*), en México existe un rezago de 4.3 millones de viviendas, de las cuales 2.5 millones corresponden a ampliación y/o mejoramiento, y 1.8 millones a viviendas nuevas⁴. Se estima que este déficit se abatirá en 15 años, siempre y cuando se construyan 750,000 viviendas anualmente⁵.

4 "Estudio Actual de la Vivienda en México 2005", CONAFOVI.

5 Reforma / Karla Ramírez, "Prevén abatir en 15 años el rezago en la vivienda", 9/Nov/2005.

La producción de viviendas en México está caracterizada por la auto-construcción, que representa entre el 50% y el 65% de las viviendas nuevas en el país⁶. Esto prueba la necesidad de construir viviendas con materiales que presenten ventajas económicas y, en este caso, con ventajas ecológicas. Si se construyen casas hasta con paja⁷, ¿por qué no construir las con mampostería de plástico reciclado? El presente escrito tiene la finalidad de obtener datos sobre las propiedades mecánicas de este nuevo material, así como de los costos asociados. Siendo un sistema constructivo orientado hacia viviendas económicas o de nivel social bajo, principalmente.

La mampostería de plástico a base de PEAD reciclado, es idea original del Ingeniero Industrial Mariano Núñez Vargas, quien obtuvo el *Premio Nacional de Vivienda 2003 a la Innovación*. El ingeniero Núñez ha realizado diversas viviendas y ampliaciones con este tipo de mampostería de PEAD reciclado y cuenta con un sistema constructivo que ha ido evolucionando, hasta conseguir pre-fabricar muros con sus vanos de puertas y ventanas, desde la planta, para que únicamente se instalen paneles completos en el sitio de la obra o construcción. Lo que posiblemente logre menores desperdicios en los materiales, ahorros en el tiempo para construir y potencialmente una reducción en los costos de construcción. Sin que sea el afán del presente estudio el de evaluar dicho método constructivo, por lo que únicamente será descrito.

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México (U.A.E.M.), se desarrolló una tesis en el año 2004, por los ahora Ingenieros Civiles: Antonio Navarro Valdés y José Iván Fernández Ahuja, quienes estudiaron un sistema constructivo denominado: "*Sistema de Construcción de Vivienda a Base de Mampostería de Plástico y Acero Estructural de Refuerzo (S.M.P.A.)*".

6 Gaceta Parlamentaria, Cámara de Diputados, 7/Dic/2000.

7 El Universal / Francisco Rosas, "Casas de paja, una alternativa", 27/Abr/2007.

En el sistema constructivo *S.M.P.A.* al igual que en la mampostería tradicional, se construyen castillos y dalas de concreto armado. Pero, a diferencia del sistema tradicional, en este caso, se usan perfiles de acero tipo “mon-ten”, para confinar dicha mampostería en vanos de puertas y ventanas (Figura 1). También, los muros se refuerzan con varilla corrugada de acero de 1/2” de diámetro, la que se inserta por cualquiera de los orificios de aproximadamente 3/4” con los que cuenta el tabique. Siendo la separación entre varillas menor en vanos de puertas y ventanas, que en muros largos. Las varillas se sueldan (puntean) al perfil tipo “mon-ten”. El muro resultante, se cubre por ambas caras con metal desplegado, mismo que se amarra con alambre recocado de lado a lado, para que finalmente, se aplane con mortero de cemento-cal-arena o con mortero de yeso.



Figura 1
Sistema constructivo *S.M.P.A.*

La Tesis realizada en la *U.A.E.M.* es un antecedente con el que se cuenta, sobre la mampostería de PEAD. Dicho estudio, se realizó considerando a la mampostería de PEAD, como un material compuesto o combinado. Es decir, los muretes ahí ensayados están recubiertos con metal desplegado calibre 26 y repellados con mortero tipo II por ambas caras. Los resultados experimentales ahí obtenidos fueron: la *resistencia a la compresión* (f_m^*), la *resistencia de diseño a la fuerza cortante* (V_m^*) y el *módulo de elasticidad* (E_m), de dicho material combinado.

Por otro lado, en laboratorios de la cementera Holcim Apasco, en Toluca, Estado de México, se realizaron pruebas de *resistencia a la compresión* (f_m^*) y de *resistencia a fuerza cortante* (V_m^*), a muretes con las mismas características de los ensayados en la *U.A.E.M.* Datos que servirán como comparativa de los mismos muretes recubiertos ensayados en dos lugares distintos.

Uno de los propósitos del presente estudio, es el de evaluar la aportación que la mampostería de PEAD sin refuerzo, presenta para resistir esfuerzos mecánicos. Los ensayos de muretes de PEAD reciclado sin refuerzo no han sido practicados hasta el momento. Se espera que estas pruebas permitan aproximarnos a determinar la resistencia mecánica, que tiene este tipo de mampostería, es decir, ¿cuánto resiste por sí misma? Por lo que, únicamente se usará material de PEAD reciclado para los ensayos de laboratorio.

De aquí que se pueda señalar si la mampostería de PEAD sin refuerzo y con el diseño actual del tabique, pueda ser aplicable para fines estructurales, o solamente deba recomendarse para muros no estructurales (divisorios).

Con los datos de los muretes contruidos de material compuesto en la *U.A.E.M.*, entonces, podremos distinguir la contribución que la mampostería de PEAD sin refuerzo, aporta en las propiedades mecánicas registradas para dicho material combinado.

Las pruebas de laboratorio a realizar en este estudio, son tomadas básicamente de las *Normas Técnicas Complementarias (N.T.C.) para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (R.C.D.F.)*. Las cuales son aplicables a estructuras de mampostería (muros) contruidos por piezas de piedra artificial, macizas o huecas y unidas mediante un mortero aglutinante.

A pesar de lo anterior, se harán pruebas similares a las establecidas para el tipo de piezas consideradas por las *N.T.C. de Mampostería del R.C.D.F.*, para obtener resultados experimentales, que permitan sentar las bases de siguientes investigaciones. Ya que uno de los objetivos principales del presente estudio, es el de generar desarrollo tecnológico en el tabique de PEAD, para que consiga un mejor desempeño mecánico (resistencia), el cual pueda ser innovado y evaluado nuevamente, identificando las variables involucradas para el diseño óptimo estructural. Quizás el tabique de PEAD pueda rediseñarse para resistir esfuerzos mecánicos, comparables a los que posee la mampostería tradicional o mayores.

En dichas normas, también se señala, que cualquier otro tipo de piezas diferente de los ahí considerados, deberá ser evaluado de acuerdo al *Apéndice "A"*.

En el *Apéndice "A" de las N.T.C. de Mampostería*, se establece un criterio de aceptación para sistemas constructivos a base de muros de mampostería diseñados para resistir sismos. Ahí se señala, que los especímenes se construirán a una escala mínima de 1/2 (0.50), con todas sus conexiones, refuerzos, bordes, así como con el confinamiento, que permitan reproducir fielmente los fenómenos de transmisión de carga. Entendiendo a la conexión, como la unión entre muros, a la liga del muro con la cimentación y con sistemas de piso o techo, así como con los elementos de refuerzo y confinamiento, como es el caso de los castillos y cerramientos en la mampostería confinada. Además son pruebas que tienen que ser supervisadas, por un perito *Corresponsable en Seguridad Estructural*.

Ya que no se cuenta con un laboratorio que tenga equipos para ensayar muros conectados y reforzados a esa escala, se realizarán con muretes que pueden ser probados en la máquina universal.

También, se ensayarán cilindros sólidos de PEAD reciclado, con el objeto de conocer sus propiedades mecánicas y entender su comportamiento mecánico cuando este material se trata como un sólido. Quizá el tabique de PEAD pueda ser sólido, o lo más cercano a esto para que su resistencia mecánica sea satisfactoria para construir muros estructurales.

Finalmente, se analizarán los costos asociados para saber si la mampostería de PEAD es competitiva económicamente, en relación con la mampostería tradicional. Se pretende realizar una comparativa aplicada a un caso práctico, donde se compare el costo de construcción de los muros de una casa tipo de interés social bajo, con el sistema (*S.M.P.A.*), contra el costo de construcción de los mismos muros con mampostería tradicional. Para valorar, de muro a muro, los ahorros o sobrecostos totales por construir con tabiques de PEAD, o por hacerlo con mampostería tradicional.

Al estudiar este tipo de materiales alternativos para la construcción, estamos transformando basura plástica en elementos útiles y con esto, se disminuye la cantidad de basura de PEAD que se depositará en los rellenos sanitarios, en el mejor de los casos. Por lo que con el uso de estos materiales se protege el medio ambiente, y se consigue un valor agregado al propio uso o servicio que proporciona el tabique de PEAD. Quizás, también, se genere en el lector, el interés por este tipo de nuevos materiales ecológicos para la construcción.

1.- Resistencia de Diseño a Compresión (f_p^*) del Tabique de PEAD Reciclado

La Resistencia de Diseño a Compresión de las Piezas (f_p^*), se obtuvo experimentalmente por el ensayo de 9 piezas de tabique de PEAD reciclado. Se puede definir al tabique de PEAD, como un componente hueco de forma prismática, que cuenta con un doble machihembrado con orificios, fabricado por un proceso denominado extrusión-soplado, a partir de plástico reciclado. Con medidas de: 4.5 cm de altura X 9.0 cm de espesor X 18.0 cm de longitud (Figura 2), la pieza tiene un peso promedio de 66 gramos/pieza (Tabla 2).



Figura 2

Pieza de tabique de PEAD reciclado.

Para observar al interior de este tipo de mampostería (Figura 3), se hizo un corte longitudinal y uno transversal, a una pieza de tabique de PEAD. Se aprecian los postes del machihembrado con los que se logra la unión entre las piezas.

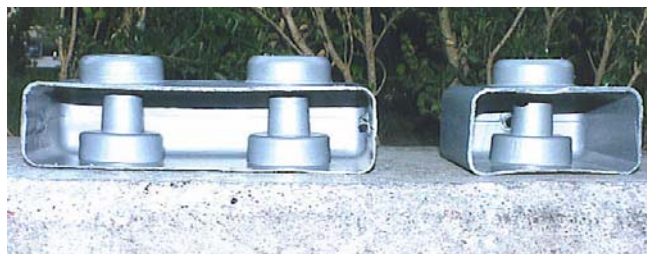


Figura 3

Al interior de la pieza de tabique de PEAD.

Las *N.T.C. de Mampostería*, indican que la *resistencia a compresión de las piezas* (f_p^*), se determinará de acuerdo al ensaye especificado en la norma vigente NMX-C-036-ONNCCE-2004. Ahí se menciona que cuando el área de la aplicación de la carga de los bloques de acero, no sea suficiente para cubrir el área que se va a cargar en la probeta, se colocarán placas adicionales de acero entre los bloques de carga, de modo que el centroide de la superficie de la probeta, quede alineada con el centro de los bloques de la máquina de prueba.

También se menciona en dicha norma que las probetas de ensaye deberán ser cabeceadas con mortero de azufre con resistencia mínima a la compresión de 350 Kg/cm². Sin embargo, esto se trata para piezas de mampostería de origen pétreo (Tabla 1).

Tabla 1.- Clasificación de piezas de acuerdo a los materiales empleados en su fabricación

Tipo de Pieza	Materiales	Forma
1.- BLOQUE	Grava – Cemento	Rectangular
	Arena – Cemento	“ “ “ ”
	Barro extruido	“ “ “ ”
	Barro recocido	“ “ “ ”
	Sílico calcáreo	“ “ “ ”
	Otros	Otras
2.- TABIQUE (Ladrillo)		
Macizo	Barro recocido	Rectangular
Hueco	Barro extruido	“ “ “ ”
Multiperforado	Otros (concreto)	Otras
3.- TABICÓN	Grava – Cemento	Rectangular
	Arena – Cemento	“ “ “ ”
	Tepojal – Cemento	“ “ “ ”
	Otros	Otras

En este ensaye, para transmitir la carga de compresión a la pieza de PEAD, se utilizó una lámina con dobleces, con el objeto de transferir la carga, tanto, a los postes del machihembrado, como, a las paredes verticales del tabique. La lámina fue colocada por debajo de una placa de acero (Figura 4).

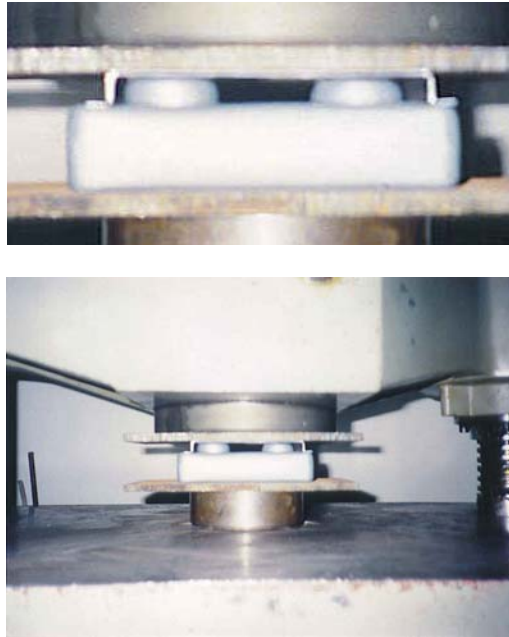


Figura 4

Pieza de tabique de PEAD reciclado, en *compresión*.

Se nota que el tabique de PEAD es altamente deformable, a niveles de poder aplastarse, sin romperse o fracturarse (Figura 5).

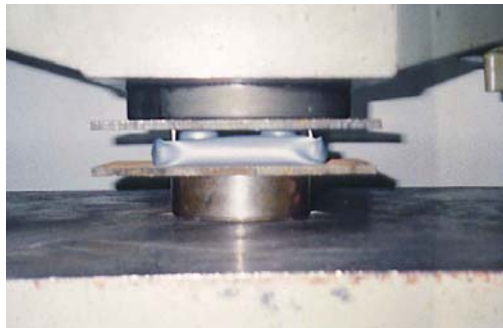


Figura 5

Pieza de mampostería de PEAD reciclado, en *compresión*
al momento de la carga máxima.

Los resultados experimentales obtenidos, se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2.- Resistencia a compresión de las piezas (f_p^*) de tabique de PEAD reciclado

PIEZA	Peso (Kg)	Ancho (cm)	Longitud (cm)	Área Bruta (cm ²)	Carga Máxima (Kgf)	Resistencia a Compresión f_p^* (Kg/cm ²)
1	0.065	9.00	18.00	162.00	180.00	1.111
2	0.065	9.00	18.00	162.00	180.00	1.111
3	0.065	9.00	18.00	162.00	200.00	1.235
4	0.066	9.00	18.00	162.00	220.00	1.358
5	0.065	9.00	18.00	162.00	190.00	1.173
6	0.067	9.00	18.00	162.00	180.00	1.111
7	0.066	9.00	18.00	162.00	180.00	1.111
8	0.068	9.00	18.00	162.00	190.00	1.173
9	0.068	9.00	18.00	162.00	190.00	1.173
Promedio (Kg)	0.066				$\overline{f_p^*} =$	1.173

De acuerdo a la *sección 2.1.2* de las *N.T.C. de Mampostería*, la resistencia de diseño a compresión de las piezas, se calcula como:

$$f_p^* = \frac{\overline{f_p^*}}{1 + 2.5 C_p}$$

Donde: f_p^* = resistencia de diseño a compresión de las piezas, referida al área bruta, en Kg/cm² (MPa), donde: 1 Mega Pascal = 10 kg/cm².

$\overline{f_p^*}$ = media de la resistencia de diseño a compresión de las piezas, en Kg/cm² (MPa).

C_p = coeficiente de variación de la resistencia a compresión de las piezas, que en este caso, se tomará como 0.30, por ser piezas de fabricación mecanizada, pero que no cuentan con un sistema de control de calidad, mismo que se refiere a los diversos procedimientos documentados de la línea de producción, incluyendo los ensayos rutinarios y sus registros.

El resultado experimental obtenido (f_p^*), para la mampostería de PEAD es:

$f_p^* = 0.67 \text{ kg/cm}^2$, lo cual refleja la escasa *resistencia a la compresión* (f_p^*), que la pieza de tabique de PEAD actualmente ofrece, en relación con las piezas que las *N.T.C. de Mampostería* considera en su *sección 2.1.1*, para la construcción de muros estructurales:

- 1.- Tabique de barro recocido
- 2.- Tabique de barro con huecos verticales
- 3.- Bloque de concreto
- 4.- Tabique de concreto (tabicón).

En función de estos tipos de piezas, se fijan en las *Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (sección 5.1)*, distintos *factores de comportamiento sísmico (Q)*, de acuerdo a la Tabla 3.

Tabla 3.- Factor de comportamiento sísmico (Q), para diferentes tipos de muro

Factor de Comportamiento Sísmico (Q)	TIPO DE MURO
4.0	Para muros de concreto reforzado, de placa de acero o compuestos de los dos materiales, provistos de contraventeo.
3.0	Para muros de concreto, de placa de acero o compuestos de los dos materiales.
2.0	Para muros de mampostería de piezas macizas confinados por castillos, dadas, columnas o traveses de concreto reforzado o de acero.
1.5	Para muros de mampostería de piezas huecas, confinados o con refuerzo interior.
1.0	Para muros de mampostería compuesta por elementos o materiales diferentes de los arriba especificados.

La unión entre pieza y pieza para formar un muro, se realiza por medio de mortero de cemento-cal-arena, ya sea del tipo I, II ó III, cuyos requerimientos son definidos en la *sección 2.5.2* de dichas normas (Tabla 4).

Tabla 4.- *Proporcionamientos, en volumen, recomendados para mortero en elementos estructurales*

Tipo de Mortero	Partes de Cemento Hidráulico	Partes de Cemento de Albañilería	Partes de Cal Hidratada	Partes de Arena, en estado suelto	Resistencia nominal en <i>compresión</i> (f_j^*)
I	1	0.00 – 0.50	0.00 – 0.25	No menos de 2.25, ni más de 3 veces, la suma de cementantes en volumen.	125 kg/cm ²
II	1	0.50 – 1.00	0.25 – 0.50		75 kg/cm ²
III	1	0.00	0.50 – 1.25		40 kg/cm ²

Se puede valorar (Tabla 5), que la *resistencia a la compresión* (f_p^*) obtenida del ensayo de las piezas de PEAD, sólo representa, desde el 0.6%, hasta el 1.1% de la resistencia referida en las *N.T.C. de Mampostería* para las piezas de mampostería tradicional.

Tabla 5.- *Resistencia a compresión de las piezas (f_p^*), de mampostería considerada en las N.T.C.*

Tipo de Pieza	Peso Volumétrico Neto Mínimo en Estado Seco	Resistencia a <i>Compresión</i> de las piezas (f_p^*)
1.- Tabique de barro recocido	1,300 kg/m ³	≥ 60 kg/cm ²
2.- Tabique de barro con huecos verticales	1,700 kg/m ³	≥120 kg/cm ²
3.- Bloque de concreto (pesado)	2,000 kg/m ³	≥100 kg/cm ²
4.- Tabique de concreto (tabicón)	1,500 kg/m ³	≥100 kg/cm ²

En las *N.T.C. de Mampostería* en la *sección 2.1.1.2* (Figura 6), para piezas de piedra artificial huecas, se marca que el espesor de pared exterior de la pieza debe ser ≥ 15.0 mm. Para piezas huecas con hasta cuatro celdas, el espesor mínimo de las paredes interiores deberá ser de 13 mm. Para piezas multiperforadas con distribución uniforme, el espesor mínimo de las paredes interiores será de 7.0 mm. Además este tipo de piezas deberá tener un área neta, de por lo menos el 50 % del área bruta en su sección transversal más desfavorable.

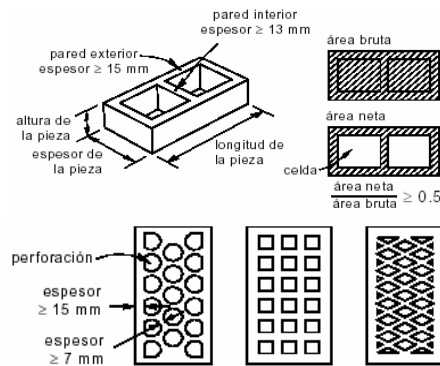


Figura 6
Piezas huecas y multiperforadas, según N.T.C.

Por su parte la norma *NMX-C-036-ONNCCE-2004*, establece los espesores de pared exterior para bloques de concreto lisos (Tabla 6). Esto indica que para piezas de mayor tamaño, se requerirá un mayor espesor de pared.

Tabla 6.- *Espesores de paredes exteriores para bloques de concreto lisos*

Tipo de Block (cm)	Espesor mínimo de paredes exteriores (mm)
10 X 20 X 40	20
12 X 20 X 40	20
15 X 20 X 40	25
20 X 20 X 40	32
25 X 30 X 40	35
30 X 30 X 40	38

También la norma vigente, hace la diferencia entre una pieza maciza de una hueca:

- **PIEZA MACIZA:**
Es aquella que el área de las celdas no sea mayor al 25% de su área total, y cuyas paredes exteriores no tienen espesores menores de 20 mm.
- **PIEZA HUECA:**
Es aquella que el área de las celdas es mayor al 25% del área total, pero menor o igual del 50% y cuyas paredes exteriores no tienen espesores menores de 15 mm.

2.- Resistencia de Diseño a Compresión Diagonal (V_m^*)

Para determinar experimentalmente la *Resistencia de Diseño a Compresión Diagonal* (V_m^*) o también conocida como la *Resistencia de Diseño a la Fuerza Cortante*, de la mampostería de PEAD reciclado, se construyeron tres muretes de ensayo (Figura 7), con medidas de: 45 cm de longitud X 45 cm de altura X 9 cm de espesor.

Los muretes se formaron con piezas de tabique hueco machihembrado de PEAD reciclado. Las piezas se cortaron para obtener mitades y se armaron mediante el machihembrado con el que cuentan (Figura 7). El murete que se obtiene tiene 10 hiladas, cada hilada tiene 2 ½ piezas y un peso promedio de 1.68 Kg/murete (Tabla 8).

Los muretes de ensayo, se sometieron a esfuerzo biaxial, colocados a 45 grados en la máquina universal, con el objeto de obtener experimentalmente la *resistencia a fuerza cortante* (V_m^*) que posee la mampostería de PEAD sin refuerzo. La probeta de prueba (murete), no cuenta con ningún refuerzo adicional, más que con la unión que le proporciona el machihembrado y el traslape o cuatrapeado entre pieza y pieza. El resultado que se obtenga será debido únicamente a la mampostería de PEAD.



Figura 7

Murete de prueba de mampostería de PEAD reciclado.

En el caso de los ensayos realizados en la *U.A.E.M.*, los muretes de PEAD, son recubiertos con metal desplegado calibre 26 y repellados con mortero tipo II. De ese material combinado, se reportó que la *resistencia de diseño a la fuerza cortante (V_m^*)* fue de **4.42 kg/cm²**.

En las *N.T.C. de Mampostería*, en su *sección 2.8.2.2* se ilustran valores de la *resistencia de diseño a fuerza cortante (V_m^*)* para los tipos de piezas consideradas en la *sección 2.1.1*, que fluctúan desde **2.00 kg/cm²** hasta **3.50 kg/cm²** (Tabla 7). Estos valores son para ensayos de muretes sin metal desplegado y sin repellado de mortero.

Tabla 7.- Resistencia de diseño a compresión diagonal (V_m^*), de la mampostería considerada en las N.T.C.

Tipo de Pieza	Tipo de Mortero	Resistencia de Diseño a Compresión Diagonal (V_m^*)	
		Kg/cm ²	(MPa)
1.- Tabique de barro recocido ($f_p^* \geq 60$ kg/cm ² , 6 MPa)	I II y III	3.5	0.35
		3.0	0.30
2.- Tabique de barro con huecos verticales ($f_p^* \geq 120$ kg/cm ² , 12 MPa)	I II y III	3.0	0.30
		2.0	0.20
3.- Bloque de concreto (pesado) ($f_p^* \geq 100$ kg/cm ² , 10 MPa)	I II y III	3.5	0.35
		2.5	0.25
4.- Tabique de concreto (tabicón) ($f_p^* \geq 100$ kg/cm ² , 10 MPa)	I II y III	3.0	0.30
		2.0	0.20

Cuando el valor de la tabla sea mayor que $0.25\sqrt{f_m^*}$, en MPa ($0.8\sqrt{f_m^*}$, en kg/cm²) se tomará este último valor como V_m^* .

En los ensayos para determinar la *resistencia de diseño a compresión diagonal* (V_m^*), de las piezas de mampostería consideradas por las *N.T.C.* en la *sección 2.8.2.1*, establecen lo siguiente:

- Que los muretes de prueba tendrán una longitud, de al menos una vez y media la longitud de una pieza y el número de hiladas necesarias, para que la altura, sea aproximadamente igual a la longitud (Figura 8). Condición que se cumple en la probeta de ensayo (Figura 7), ya que su longitud, es de dos piezas y media. También, se cumple la semejanza entre altura y longitud, ya que son iguales, de 45 cm, respectivamente.

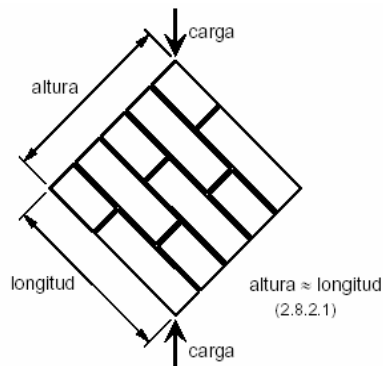


Figura 8

Murete para prueba en *Compresión Diagonal*, según *N.T.C.*

- Los muretes se ensayarán sometiéndolos a una carga de compresión monótona a lo largo de su diagonal.
- El *esfuerzo cortante medio* ($\overline{V_m}$) se determinará: dividiendo la *carga máxima* entre el *área bruta* del murete, medida sobre la misma diagonal.

En la Figura 9, se puede observar a un murete de ensaye sometido a *compresión diagonal*, colocado a 45° en la máquina universal. Durante este ensayo se aplicó carga lenta de manera constante, hasta registrar la carga máxima, de ruptura o de falla.

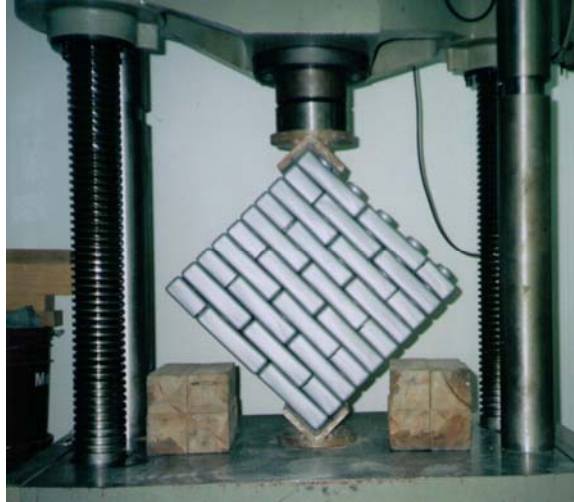


Figura 9

Murete de mampostería de PEAD, sometido a *Compresión Diagonal*.

Se aprecia la deformación al momento de aplicar la carga máxima (Figura 10). Para este murete de prueba, se puede distinguir que una pieza de la parte inferior se desprende, mientras que el resto del murete se vuelve inestable y sin capacidad para soportar más carga, es decir, se desmorona.

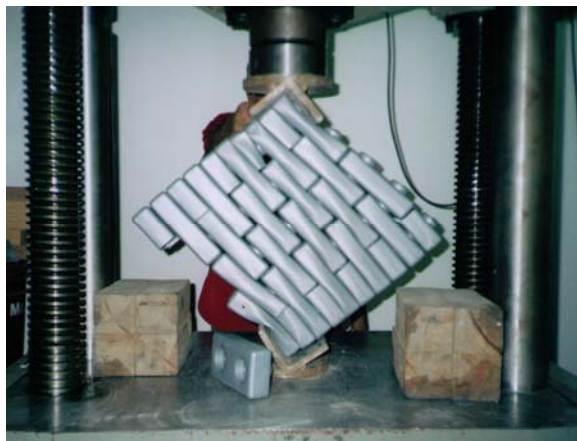


Figura 10

Murete de mampostería de PEAD en *Compresión Diagonal*, al momento de la Carga Máxima.

Los datos experimentales obtenidos para los muretes ensayados, se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8.- Resistencia a compresión diagonal (V_m^*), en muretes de mampostería de PEAD reciclado

Murete	Peso (Kg)	Espesor (cm)	Longitud Diagonal (cm)	Área Bruta (cm ²)	Carga Máxima (Kgf)	Esfuerzo Cortante (V_m^*) (Kg/cm ²)
1	1.693	9.00	63.00	567.00	125.00	0.220
2	1.712	9.00	63.00	567.00	165.00	0.291
3	1.643	9.00	63.00	567.00	170.00	0.300
Promedio (Kg)	1.683				$\overline{V_m} =$	0.270

De acuerdo a las *N.T.C. de Mampostería*, la resistencia de diseño a cortante será:

$$V_m^* = \frac{\overline{V_m}}{1 + 2.5 C_v}$$

Donde:

V_m^* = resistencia de diseño a compresión diagonal de muretes, sobre el área bruta medida a lo largo de la diagonal paralela a la carga, en Kg/cm² (MPa).

$\overline{V_m}$ = media de la resistencia a compresión diagonal de muretes, sobre el área bruta medida a lo largo de la diagonal paralela a la carga, en Kg/cm² (MPa).

C_v = coeficiente de variación de la resistencia a compresión diagonal de muretes de mampostería, que en ningún caso se tomará inferior a 0.20.

El resultado experimental obtenido (V_m^*), para la Mampostería de PEAD es:

$V_m^* = 0.18 \text{ kg/cm}^2$, que representa el 4.1% de la *resistencia de diseño a compresión diagonal (V_m^*)* para muretes de PEAD recubiertos con metal desplegado calibre 26 y repellados con mortero tipo II, ensayados en la U.A.E.M., o dicho de otra forma, el 95.9% de esta resistencia, es debida al metal y al mortero, como se puede valorar en la Tabla 9.

Tabla 9.- Resistencia de Diseño a Compresión Diagonal (V_m^*), para diversos tipos de mampostería

Muretes de mampostería considerada en las <i>N.T.C.</i> , sin recubrimiento.	Muretes de PEAD recubiertos, ensayados en la U.A.E.M.	Muretes de PEAD recubiertos, ensayados en Holcim-Asasco.	<i>Muretes de PEAD, sin metal desplegado y sin repellado de mortero.</i>
2.00 a 3.50 kg/cm ²	4.42 kg/cm ²	3.62 kg/cm ²	0.18 kg/cm ²

Para la mampostería considerada en las *N.T.C. sección 2.8.2.2*, los valores de (V_m^*) son dependiendo del tipo de pieza, además, si se utiliza mortero tipo I, II ó III (Tabla 7).

Por otro lado, debe tomarse en cuenta, que para el caso de la mampostería considerada en la *sección 2.1.1 de las N.T.C.*, la unión entre pieza y pieza, se realiza mediante un mortero cementante. Cuestión que es muy difícil de comparar con la unión de las piezas de PEAD, las cuales se ligan entre sí, con un débil machihembrado.

También, las piezas de mampostería consideradas en las *N.T.C.*, tienen un peso volumétrico neto mínimo en estado seco, que va de los 1,300 Kg/m³ a los 2,000 Kg/m³ (Tabla 5), a diferencia de los tabiques de PEAD reciclado, que tienen

un peso volumétrico seco de apenas 89 Kg/m^3 , es decir, el 5.5 % del promedio del peso volumétrico de las piezas mencionadas en las *N.T.C.*

Por lo anterior, no se puede establecer una comparativa justa, ya que la mampostería tradicional considerada en las *N.T.C.* y la de PEAD reciclado, son de una naturaleza muy distinta, una de origen pétreo y otra de plástico reciclado. Sin que esto signifique que no se tenga que rediseñar el tabique de PEAD para ser competitivo en resistencia mecánica.

3.- Resistencia de Diseño a Compresión de la Mampostería (f_m^*)

La Resistencia de Diseño a Compresión de la Mampostería (f_m^*), se estimó experimentalmente con el ensayo de 3 muretes de mampostería de PEAD reciclado y sin refuerzo, los cuales tienen las mismas dimensiones y características a las del murete de prueba de la Figura 7. Para este ensayo, se usó el mismo murete, no obstante, de que en las *N.T.C. de Mampostería*, se muestra a la pila de prueba en compresión sin cuatrapeado de piezas (Figura 11).

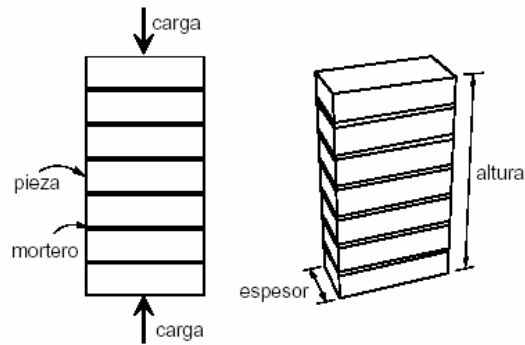


Figura 11

Pila para prueba en *compresión*, según *N.T.C.*

Por otro lado, en el método constructivo *S.M.P.A.*, se coloca en la parte extrema superior un perfil de acero tipo “mon-ten”, mismo que transmite la carga, en primer lugar, a los postes del machihembrado de la última hilada, por lo que, para este ensayo, se colocó horizontalmente una placa de acero por encima del murete de prueba, para transferir la carga (Figura 12). También, se colocó un micrómetro, con el objeto de registrar las *deformaciones* debidas a las *cargas aplicadas*. Cuestión que no fue posible determinar con este equipo de medición, ya que la escala fue muy pequeña para el nivel de deformaciones que presentó la mampostería de PEAD.

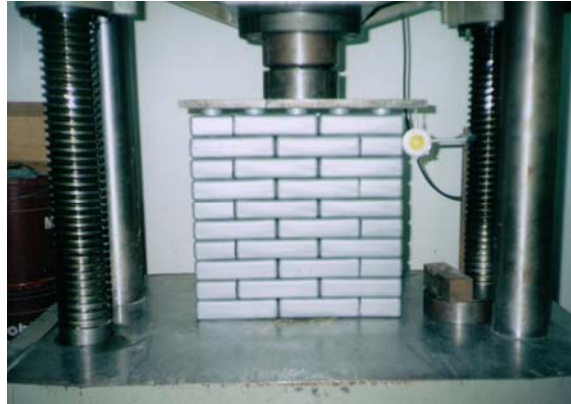


Figura 12

Murete de mampostería de PEAD, sometido a *Compresión*.

En el caso del murete No. 2* (Figura 13), éste se comprimió de manera uniforme, sin pandearse. Su tamaño se redujo, a simple vista, de manera significativa, lo que indica, que la mampostería de PEAD es un material altamente deformable, o dicho de otra forma, que opone poca resistencia para ser deformada.

La carga máxima se registró en la máquina universal, cuando la aguja que indica la carga aplicada, llegó a un máximo, después, la máquina dejó de aplicar carga y se empezó a regresar la aguja.



Figura 13

Murete de mampostería de PEAD, a *Compresión**
al momento de la Carga Máxima.

En otro murete se observa el pandeo producido por la aplicación de la carga (Figura 14). Nótese que la deformación de las piezas centrales es mayor que en los extremos. En pocos momentos, las piezas de mampostería de PEAD, salen despedidas de forma violenta y se registra la carga máxima.



Figura 14
Murete de mampostería de PEAD, a *Compresión*,
presentando pandeo.

Los resultados experimentales para este ensayo, se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10.- Resistencia de Diseño a Compresión de la mampostería (f_m^*), de PEAD reciclado

Murete	Espesor (cm)	Longitud (cm)	Área Bruta (cm ²)	Carga Máxima (Kgf)	Resistencia a Compresión (f_m^*) (Kg/cm ²)
1	9.00	45.00	405.00	140.00	0.346
2*	9.00	45.00	405.00	625.00	1.543
3	9.00	45.00	405.00	340.00	0.840
				$\overline{f_m} =$	0.910

En la *sección 2.8.1.1* de las *N.T.C. de Mampostería*, se establecen los factores correctivos para la resistencia de las pilas con diferentes relaciones de altura a espesor. Para este murete de ensayo, la relación altura a espesor, resultó de 5, por lo que el factor correctivo será de 1.05, mismo que se multiplica por la media de la *resistencia a compresión* obtenida ($\overline{f_m}$).

La *resistencia de diseño a compresión sobre el área bruta*, se calcula como:

$$f_m^* = \frac{\overline{f_m}}{1 + 2.5 C_m}$$

Donde:

f_m^* = *resistencia de diseño a compresión* de la mampostería, en Kg/cm² (MPa).

$\overline{f_m}$ = *media de la resistencia a compresión* de las pilas, corregida por su relación altura a espesor y referida al área bruta, en Kg/cm² (MPa).

C_m = *coeficiente de variación de la resistencia a compresión* de las pilas de mampostería, que en ningún caso se tomará inferior a 0.15.

El resultado experimental obtenido (f_m^*), para la mampostería de PEAD es:

$f_m^* = 0.70 \text{ kg/cm}^2$, que representa el 6% de la *resistencia de diseño a compresión* (f_m^*) para muretes de PEAD recubiertos con metal desplegado calibre 26 y repellados con mortero tipo II, ensayados en la *U.A.E.M.*, (Tabla 12). Así como el 5% de esa misma *resistencia*, para piezas de tabique de barro recocido (Tabla 11).

Tabla 11.- Resistencia de diseño a compresión de la mampostería (f_m^*) para algunos tipos de piezas, sobre área bruta

Tipo de Pieza	Resistencia de Diseño a Compresión de la Mampostería (f_m^*), en Kg/cm ²		
	Mortero I	Mortero II	Mortero III
1.- Tabique de barro recocido ($f_p^* \geq 60$ kg/cm ²)	15.00	15.00	15.00
2.- Tabique de barro con huecos verticales ($f_p^* \geq 120$ kg/cm ²)	40.00	40.00	30.00
3.- Bloque de concreto (pesado) ($f_p^* \geq 100$ kg/cm ²)	20.00	15.00	15.00
4.- Tabique de concreto (tabicón) ($f_p^* \geq 100$ kg/cm ²)	20.00	15.00	15.00

Es evidente la poca contribución que la mampostería de PEAD sin refuerzo aporta en la *resistencia* que se obtuvo para el mismo material, pero recubierto con metal desplegado y repellido con mortero (Tabla 12).

Tabla 12.- Resistencia de Diseño a Compresión (f_m^*) para muretes de diversos tipos de mampostería

Muretes de mampostería considerada en las <i>N.T.C.</i> , sin recubrimiento.	Muretes de PEAD recubiertos, ensayados en la U.A.E.M.	Muretes de PEAD recubiertos, ensayados en Holcim-Apasco.	<i>Muretes de PEAD, sin metal desplegado y sin repellido de mortero.</i>
15.00 - 40.00 kg/cm ²	12.35 kg/cm ²	21.92 kg/cm ²	<i>0.70 kg/cm²</i>

En el caso del ensayo del segundo murete*, ya que éste no se pandeó, pudo resistir mayor carga. Sin embargo, aunque tomáramos este resultado para recalcular (f_m^*), el efecto de éste no marca la diferencia, ya que (f_m^*), pasaría de 0.70 kg/cm² a 1.18 kg/cm², resultado que sigue siendo muy bajo estructuralmente hablando, para la mampostería de PEAD sin recubrimiento de metal desplegado y mortero.

4.- Módulo de Elasticidad de la Mampostería de PEAD (E_{mp})

Para valorar experimentalmente, el *Módulo de Elasticidad de la Mampostería de PEAD* (E_{mp}), se ensayaron tres muretes de mampostería de PEAD (Figura 7), mismos que fueron sometidos a esfuerzo de compresión.

De acuerdo a la *sección 2.8.5* de las *N.T.C.*, el *Módulo de Elasticidad para la Mampostería*, se puede obtener de dos formas:

1. Determinación a partir de la *resistencia de diseño a compresión de la mampostería* (f_m^*), donde se indican las siguientes expresiones, para piezas de tabique y otras piezas, excepto las de concreto:

$$E_{mp} = 350 f_m^* = 350 (0.70 \text{ kg/cm}^2) = 245 \text{ kg/cm}^2$$

*para cargas sostenidas**

$$E_{mp} = 600 f_m^* = 600 (0.70 \text{ kg/cm}^2) = 420 \text{ kg/cm}^2$$

*para cargas de corta duración***

2. Por medio de ensayos de pilas construidas con las piezas y morteros que se emplearán en la obra.

Se muestra una comparativa del *módulo de elasticidad para la mampostería* (Tabla 13), calculado a partir de las expresiones anteriores.

Tabla 13.- *Módulos de Elasticidad, a partir de la Resistencia de Diseño a Compresión de la mampostería* (f_m^*)

Muretes de mampostería considerada en las <i>N.T.C.</i> , sin recubrimiento.	Muretes de PEAD recubiertos, ensayados en la U.A.E.M.	<i>Muretes de PEAD, sin metal desplegado y sin repellado de mortero.</i>
* 5,250 - 14,000 Kg/cm ²	* 4,322 Kg/cm ²	* 245 Kg/cm ²
** 9,000 - 24,000 Kg/cm ²	** 7,410 Kg/cm ²	** 420 Kg/cm ²

* Para cargas sostenidas

** Para cargas de corta duración

En el presente ensayo, al igual que en la prueba para determinar *la resistencia de diseño a compresión de la mampostería (f_m^*)*, se colocó una placa de acero encima del murete para transmitir la carga. Adicionalmente, se colocó a la placa una escuadra como apuntador, dirigido hacia una regla de madera graduada en centímetros (Figura 15), con el objeto de registrar las deformaciones diferidas en el murete, debidas a las cargas aplicadas. El murete verticalmente, tiene una *longitud calibrada (L_c)* de 46 centímetros.

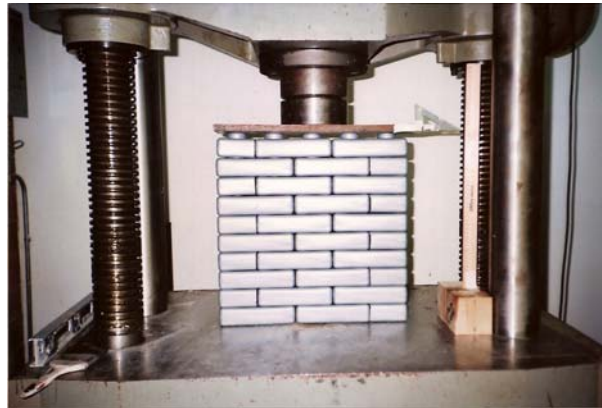


Figura 15
Murete de mampostería de PEAD, sometido a *Compresión*,
para obtención del *Módulo Elástico*

Se observa la deformación que sufre el murete de ensayo (Figura 16), ya que éste no se pandeó, fue el único que sirvió de las tres probetas, para medir las deformaciones debidas al flujo elástico y plástico de las piezas.



Figura 16
Murete de mampostería de PEAD a *Compresión**,

al momento de la Carga Máxima.

Se puede contrastar la Figura 15 y la Figura 16, se aprecia el nivel de deformación que sufre la mampostería de PEAD. El indicador de la deformación, que es la punta de la escuadra, se redujo 22.1 cm, con una carga aplicada de 10.00 Kgf a 280.00 Kgf (Tabla 14).

Al igual que en la prueba de compresión (Capítulo 3), en este ensayo, también se pandearon dos probetas, a pesar de haber alineado y nivelado cada murete de igual forma con ayuda de un nivel de albañil. Debido a esto se desechan los otros dos muretes, ya que el interés de la presente prueba es el de obtener datos de un aplastamiento vertical y no de un pandeo (Figura 17).



Figura 17

Pandeo de murete de mampostería de PEAD, sometido a *Compresión*.

En la Tabla 14 se muestran los resultados de este ensayo. Se puede distinguir que se han resaltado con negritas aquéllos, que van desde una carga aplicada de 10.00 Kgf a 110.00 Kgf, rango de datos que corresponden al 40% de la carga máxima. Ya que de acuerdo con el *Método de la Secante* definido por el ACI (American Concrete Institute), es en esta zona donde se presenta la *etapa elástica* de la curva esfuerzo-deformación para el concreto (Figura 18), es decir, se considera que la deformación en el rango elástico, debida a la carga aplicada no es permanente.

Tabla 14.- Datos para obtener el Módulo Elástico (E_{mp}), de la mampostería de PEAD

Carga Aplicada (Kgf)	Lectura Vertical (cm)	Deformación (cm)	Deformación Acumulada (cm)	Deformación Unitaria (ϵ) (cm/cm)	Área Bruta (cm ²)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
0	46.0	0.00	0.00	0.0000	405.00	0.00
10	45.7	0.30	0.30	0.0065	405.00	0.02
20	45.3	0.40	0.70	0.0152	405.00	0.05
30	44.8	0.50	1.20	0.0261	405.00	0.07
40	44.2	0.60	1.80	0.0391	405.00	0.10
50	44.0	0.20	2.00	0.0435	405.00	0.12
60	43.5	0.50	2.50	0.0543	405.00	0.15
70	42.9	0.60	3.10	0.0674	405.00	0.17
80	42.4	0.50	3.60	0.0783	405.00	0.20
90	41.5	0.90	4.50	0.0978	405.00	0.22
100	41.1	0.40	4.90	0.1065	405.00	0.25
110	40.8	0.30	5.20	0.1130	405.00	0.27
120	39.1	1.70	6.90	0.1500	405.00	0.30
130	38.3	0.80	7.70	0.1674	405.00	0.32
140	37.8	0.50	8.20	0.1783	405.00	0.35
150	36.5	1.30	9.50	0.2065	405.00	0.37
160	34.8	1.70	11.20	0.2435	405.00	0.40
170	34.0	0.80	12.00	0.2609	405.00	0.42
180	33.3	0.70	12.70	0.2761	405.00	0.44
190	32.4	0.90	13.60	0.2957	405.00	0.47
200	32.0	0.40	14.00	0.3043	405.00	0.49
210	30.5	1.50	15.50	0.3370	405.00	0.52
220	29.2	1.30	16.80	0.3652	405.00	0.54
230	27.8	1.40	18.20	0.3957	405.00	0.57
240	26.8	1.00	19.20	0.4174	405.00	0.59
250	26.5	0.30	19.50	0.4239	405.00	0.62
260	24.3	2.20	21.70	0.4717	405.00	0.64
270	24.1	0.20	21.90	0.4761	405.00	0.67
280	23.9	0.20	22.10	0.4804	405.00	0.69

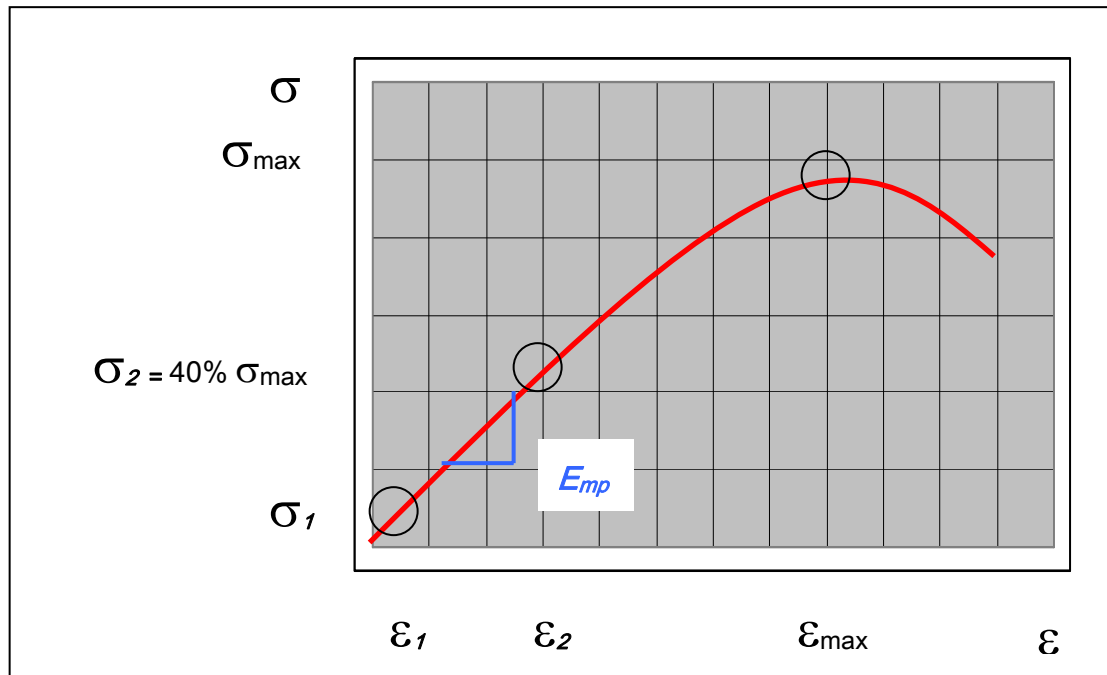


Figura 18
Curva Esfuerzo-Deformación típica del concreto

De acuerdo al *Método de la Secante* (ACI), el *módulo de elasticidad* se calcula como sigue:

$$E_{mp} = \frac{40\% \sigma_{max} - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

Donde:

σ = Esfuerzo (kg/cm²); ϵ = Deformación Unitaria (cm/cm).

σ_1 = Esfuerzo debido a la carga inicial.

σ_2 = Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga máxima.

ϵ_1 = Deformación unitaria debido a la carga inicial.

ϵ_2 = Deformación unitaria correspondiente al 40% de la carga máxima.

σ_{max} = Esfuerzo debido a la carga máxima.

ϵ_{\max} = Deformación unitaria debido a la carga máxima.

A partir de los datos de la Tabla 14, se sustituyen los valores y se obtiene la pendiente de la recta, que es *el módulo de elasticidad* (E_{mp}) de la mampostería de PEAD.

El resultado experimental obtenido (E_{mp}), para la Mampostería de PEAD es:

$E_{mp} = 2.35 \text{ kg/cm}^2$, resultado que significa el 0.01 %, con respecto al dato experimental reportado para la misma mampostería de PEAD, pero recubierta con metal desplegado calibre 26 y repellada con mortero tipo II, ensayada en la U.A.E.M., el cual fue de 19,430.20 Kg/cm², dato todavía muy superior al obtenido para ese mismo murete, pero calculado con las expresiones de la sección 2.8.5.2 de las N.T.C. de Mampostería, mismos que son de: 4,322 Kg/cm² para cargas sostenidas y de 7,410 Kg/cm² para cargas de corta duración, respectivamente (Tabla 13).

5.- Resistencia a la Compresión de Cilindros de PEAD (f'_p)

Para obtener experimentalmente la *Resistencia a Compresión del PEAD Reciclado* (f'_p), cuando éste se comporta como un material sólido, se ensayaron dos cilindros elaborados del mismo material, con el que se fabrican los tabiques huecos de PEAD (Figura 19).



Figura 19
Cilindro Sólido de PEAD Reciclado

Se observa a una de las probetas sometida a *esfuerzo de compresión* en la máquina universal (Figura 20). Adicionalmente se le colocó un equipo llamado: “*Anillos para Módulo Elástico*”, que se utilizan para medir deformaciones, mismos que se conectan con cables a la computadora, y, por medio de un software llamado: “*Programa de Ensayo y Adquisición para Módulo Elástico del Concreto*”, se estimó: la *Carga Máxima*, el *Módulo de Poisson* y el *Módulo de Elasticidad*, para el material sólido de PEAD reciclado.

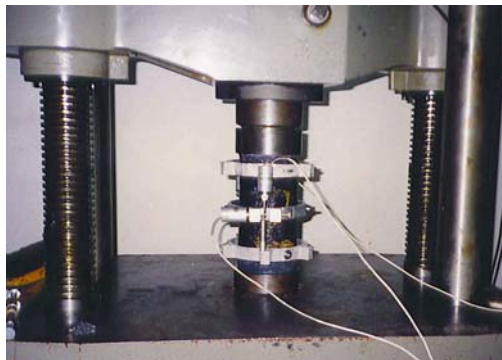


Figura 20
Cilindro de PEAD reciclado sometido a *Compresión*, con *Anillos para Módulo Elástico*

Se puede apreciar el tipo de falla que muestra el cilindro de PEAD, al ser sometido, a *esfuerzo de compresión* (Figura 21).

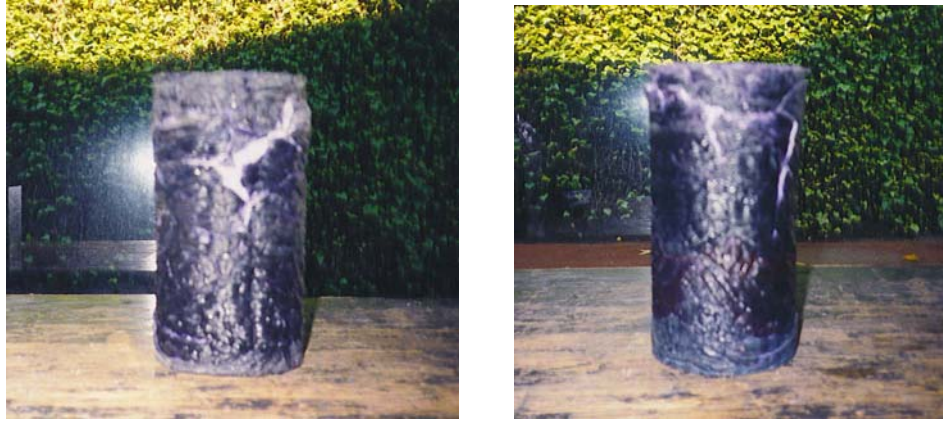


Figura 21
Tipo de Falla a *Compresión*, en cilindros sólidos de PEAD reciclado

Los resultados para el PEAD reciclado sólido, se exponen en la Tabla 15a y 15b.

Tabla 15a.- *Características y Propiedades Mecánicas de Cilindros Sólidos de PEAD reciclado*

Cilindro	Peso (Kg)	Peralte (cm)	Diámetro (cm)	Área Bruta (cm ²)	Carga Máxima (Kgf)	Resistencia a Compresión (Kg/cm ²)
1	3.727	29.00	14.50	165.13	47,100.00	285.23
2	3.644	28.70	14.50	165.13	45,700.00	276.75

Tabla 15b.- *Características y Propiedades Mecánicas de Cilindros Sólidos de PEAD reciclado*

Cilindro	Módulo de Poisson del PEAD	Módulo de Elasticidad del PEAD (Kg/cm ²)	Peso Volumétrico del PEAD en Estado Seco (Kg/m ³)
1	0.348	13,848.47	777
2	0.268	12,361.03	775

El resultado de la resistencia del PEAD sólido *a compresión*, puede contrastarse con *concretos de resistencia normal Clase 1*, empleados para fines estructurales, que tienen una *resistencia especificada a compresión (f'_c)*, igual o mayor que 250 kg/cm² (25 MPa). Por lo que la idea de fabricar a los tabiques de PEAD sólidos, no debe ser descartada, hasta donde el balance económico lo permita en un diseño estructural óptimo.

El peso volumétrico del PEAD sólido es de 0.78 ton/m³, comparado con el del concreto, en estado fresco, *Clase 1*, que debe ser superior a 2.2 ton/m³, según se marca en la *sección 1.5.1* de las *N.T.C. para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto*, del *R.C.D.F.* Hasta aquí, se puede describir al PEAD reciclado sólido, como un material resistente y ligero.

El la *sección 1.5.1.4* de las *N.T.C. de Concreto*, se menciona que para concretos *Clase 1*, el *Módulo de Elasticidad (E_c)*, se supondrá igual a:

$$(14\ 000 \sqrt{f'_c}, \text{ en kg/cm}^2)$$

para concretos con agregado grueso calizo y

$$(11\ 000 \sqrt{f'_c}, \text{ en kg/cm}^2)$$

para concretos con agregado grueso basáltico.

Si aplicamos lo anterior al caso mínimo, con un concreto $f'_c=250$ kg/cm², *Clase 1* y agregado grueso basáltico, el módulo de elasticidad sería de: $E_c=173,925$ kg/cm², resultado que es muy superior al promedio reportado por el software, antes citado, para el PEAD sólido con: $E_{mp}=13,105$ kg/cm², que representa el 7.5% del *Módulo de Elasticidad* para el concreto de este ejemplo. Esto revela que el PEAD sólido es un material altamente deformable, o dicho de otra forma, que opone escasa resistencia para ser deformado.

6.- COMPARATIVA ECONÓMICA

Se compara el costo directo por m² de construcción de muros de PEAD con el sistema (S.M.P.A.), contra el costo por m² para los tipos de piezas indicados en la Tabla 16, también se indican los insumos componentes de los muros construidos con los diferentes tipos de piezas. Además, se compara el costo directo total de construcción de los muros para una Casa Tipo (Figura 22), con los diferentes tipos de piezas (Tabla 18). El proyecto de la Casa Tipo se consiguió de la empresa “Tabiques y Estructuras Reciclables, S.A. de C.V.”, propiedad del Ingeniero Mariano Núñez, para realizar la cuantificación de los insumos, costear y determinar si la mampostería de PEAD es competitiva económicamente, en relación con la mampostería tradicional que ofrece el mercado.

Tabla 16.- Componentes de los muros para diferentes tipos de mamposterías.

Tipo de Pieza	Componentes de los Muros
1.- Tabique de PEAD reciclado	1.- tabique de 4.5X9.0X18.0 cm. 2.- canal de lámina negra calibre 20 3.- varilla corrugada de 1/2" 4.- soldadura E-6013 5.- metal desplegado calibre 26 6.- alambre recocido calibre 18 7.- mano de obra, equipo y herramienta.
2.- Tabique de barro recocido	1.- tabique 5.5X11.5X23.5 cm. 2.- mortero cemento-arena 1:5 3.- mano de obra, equipo y herramienta.
3.- Block de concreto (pesado)	1.- block 10X20X40 cm. 2.- mortero cemento- arena 1:5 3.- escalerilla de refuerzo 4.- mano de obra, equipo y herramienta.
4.- Tabique de concreto (tabicón)	1.- tabicón 7X12X24 cm. 2.- mortero cemento- arena 1:5 3.- mano de obra, equipo y herramienta.

Para determinar el costo por m² de la mampostería de PEAD, se calcularon todos los materiales a emplear en la construcción de los muros de la Casa Tipo sin considerar el aplanado de mortero (Tabla 17), para después dividir las cantidades totales de materiales entre los m² construidos de muros, y así, obtener la cantidad de materiales por m², correspondiente a la distribución de los muros de la Casa Tipo. Es decir, se obtiene un prorrateo de los materiales por m² de muro construido.

Tabla 17.- Materiales necesarios para la construcción de los muros de la Casa Tipo, con mampostería de PEAD.

Muro	EJE	EJE: A :	Longitud (m)	Ventana (m)	Tabique PEAD (PZA)	Canal de Lámina (PZA)	Varilla ½" (KG)	Alambrón (KG)	Soldadura E-6013 (KG)	Metal Despl. C-26 (M ²)	Alambre Rec. C-18 (KG)
1	A	3' - 4	2.70	---	829.00	2.00	7.78	0.66	0.23	14.16	0.10
2	A'	2" - 3'	0.48	---	147.00	0.33	5.19	0.20	0.16	2.51	0.02
3	A''	2' - 2"	1.10	---	338.00	1.00	5.19	0.33	0.16	5.77	0.04
4	B	2 - 2'	1.08	0.90X1.25	187.00	2.33	7.67	0.32	0.23	3.70	0.02
5	B	2" - 3'	0.48	---	147.00	0.33	5.19	0.20	0.16	2.51	0.02
6	B	3" - 4	1.78	---	547.00	1.33	7.78	0.47	0.23	9.33	0.07
7	B'	3" - 4	1.78	---	547.00	1.33	7.78	0.47	0.23	9.33	0.07
8	C	1 - 2	1.86	---	571.00	1.33	7.78	0.49	0.23	9.74	0.07
9	C	2 - 3	2.73	---	838.00	2.00	7.78	0.67	0.23	14.31	0.10
10	C'	3" - 4	1.85	0.50X1.10	498.00	2.50	8.00	0.49	0.24	8.86	0.06
11	D	1 - 2	2.47	0.95X1.25	607.00	3.33	7.67	0.62	0.23	10.88	0.08
12	D	2 - 3	2.13	0.95X1.25	502.00	3.00	7.67	0.54	0.23	9.09	0.06
13	1	C - D	2.70	---	829.00	2.00	7.78	0.66	0.23	14.16	0.10
14	2	B - C	2.70	---	829.00	2.00	7.78	0.66	0.23	14.16	0.10
15	2'	A" - B	0.48	---	147.00	0.33	5.19	0.20	0.16	2.51	0.02
16	2''	A' - B	0.94	---	289.00	0.75	5.19	0.29	0.16	4.94	0.04
17	3	B - C	1.78	---	547.00	1.33	7.78	0.47	0.23	9.33	0.07
18	3	C' - D	1.68	---	516.00	1.25	7.78	0.45	0.23	8.80	0.06
19	3'	A - A'	1.52	0.90X1.25	323.00	2.75	7.67	0.42	0.23	6.02	0.04
20	3''	B - B'	0.72	---	221.00	0.50	5.19	0.25	0.16	3.78	0.03
21	4	A - B	2.70	---	829.00	2.00	7.78	0.66	0.23	14.16	0.10
22	4	B - B'	1.42	0.50X0.50	404.00	1.75	9.29	0.39	0.28	7.13	0.05
23	4	B' - C'	2.18	---	669.00	1.50	7.78	0.55	0.23	11.43	0.08
		Σ =	39.26	5.44	11,361.00	36.97	164.69	10.47	4.93	196.61	1.40

De la Tabla 17 se obtiene el área total de muros, al multiplicar los 39.26 m de longitud total de muros X 2.40 m de altura, luego se resta el área de vanos de ventanas (5.44 m²), por lo que resultan **88.78 m²** de construcción de muros para la Casa Tipo propuesta (Figura 22).

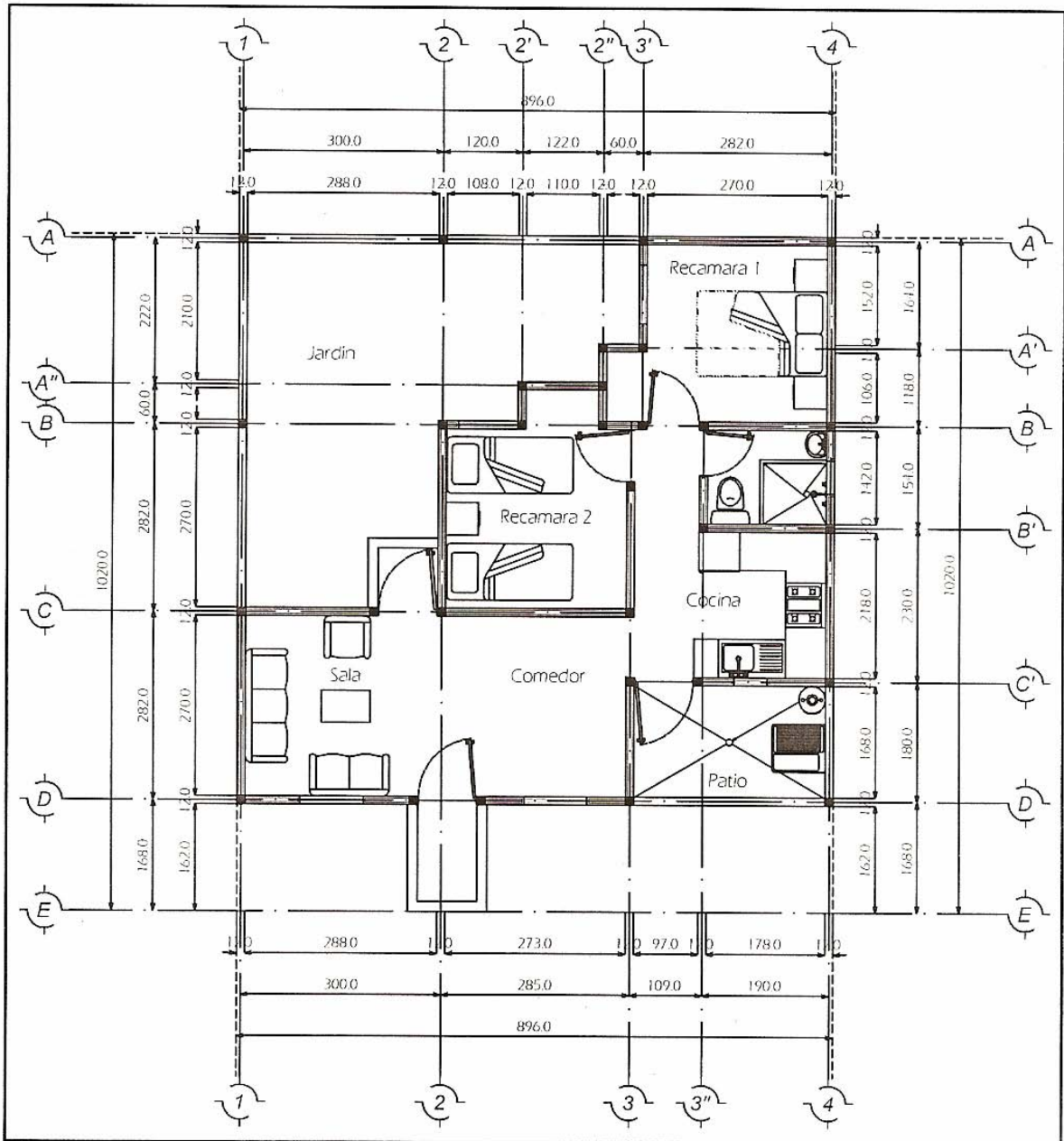


Figura 22

Planta Arquitectónica.- Casa Tipo de Interés Social Bajo
 Superficie de Construcción 47.50 m², Superficie del Terreno 91.39 m²

Se determina el análisis de precio unitario por m² de mampostería de PEAD y se compara con los análisis correspondientes para las piezas de mampostería tradicional (Tabla 16), mismos que se enlistan a continuación, a pesos mexicanos del 25 de mayo de 2007.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	Costo	Importe	%
Análisis: MTABPEAD Unidad: M2						
MURO DE 12 CM DE ESPESOR, PREFABRICADO A BASE DE MAMPOSTERÍA DE PEAD EN RECICLAJE, CONFINADO CON CANAL DE LÁMINA NEGRA CAL. 20, DESPLANTADO CON "U" DE ALAMBRÓN SOLDADO AL CANAL A CADA 45 CM, REFORZADO EN SU INTERIOR CON VARILLA CORRUGADA DE 1/2" DE DIÁMETRO, CUBIERTO EN AMBAS CARAS CON METAL DESPLEGADO CAL. 26 QUE SE AMARRA CON ALAMBRE RECOCIDO CAL. 18, INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, EQUIPO Y HERRAMIENTA. Nota.- Sin Aplanado						
MATERIALES						
TABPEADR	TABIQUE DE PEAD en reciclaje 4.5X9.0X18.0 cm	PZA	127.960000	\$1.00	\$127.96	50.72%
CANALC20	CANAL DE LAMINA NEGRA CAL. 20 DE 3.05 m	PZA	0.420000	\$95.00	\$39.90	15.82%
ACEREF3	VARILLA CORRUGADA DE 1/2" DE DIÁMETRO	KG	1.850000	\$10.84	\$20.05	7.95%
ACEREF2	ALAMBRÓN	KG	0.120000	\$11.29	\$1.35	0.54%
SOLDE6013	SOLDADURA E-6013	KG	0.060000	\$30.36	\$1.82	0.72%
METDESP26	METAL DESPLEGADO CAL. 26	M2	2.210000	\$16.22	\$35.85	14.21%
ALAMREC18	ALAMBRE RECOCIDO CAL. 18	KG	0.020000	\$17.84	\$0.36	0.14%
Subtotal: MATERIALES					\$227.29	90.09%
MANO DE OBRA						
1P1E	CUADRILLA No. 5 (1 ALBAÑIL + 1 PEÓN)	JOR	0.050028	\$471.43	\$23.58	9.35%
Subtotal: MANO DE OBRA					\$23.58	9.35%
EQUIPO Y HERRAMIENTA						
%MO1	HERRAMIENTA MENOR	%	0.030000	\$23.58	\$0.71	0.28%
%MO2	ANDAMIOS	%	0.030000	\$23.58	\$0.71	0.28%
Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA					\$1.42	0.56%
COSTO DIRECTO					\$252.29	100.00%
(* DOSCIENTOS CINCUENTA Y DOS PESOS 29/100 M.N. *)						

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	Costo	Importe	%
Análisis: MTR14 Unidad: M2						
MURO DE 12 CM DE ESPESOR DE TABIQUE ROJO RECOCIDO ACABADO COMÚN, ASENTADO CON MEZCLA DE CEMENTO-ARENA 1:5, INCLUYE: MATERIALES MANO DE OBRA, EQUIPO Y HERRAMIENTA. Nota.- Sin Aplanado						
MATERIALES						
TABIQUERR	TABIQUE ROJO RECOCIDO 5.5x12x24 cm	MIL	0.064000	\$1,335.60	\$85.48	51.00%
Subtotal: MATERIALES					\$85.48	51.00%
MANO DE OBRA						
1P1E	CUADRILLA No. 5 (1 ALBAÑIL + 1 PEÓN)	JOR	0.111111	\$471.43	\$52.38	31.25%
Subtotal: MANO DE OBRA					\$52.38	31.25%
BASICOS						
1:5	MORTERO CEMENTO ARENA 1:5	M3	0.036000	\$738.87	\$26.60	15.87%
Subtotal: BÁSICOS					\$26.60	15.87%
EQUIPO Y HERRAMIENTA						
%MO1	HERRAMIENTA MENOR	%	0.030000	\$52.38	\$1.57	0.94%
%MO2	ANDAMIOS	%	0.030000	\$52.38	\$1.57	0.94%
Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA					\$3.14	1.87%
COSTO DIRECTO					\$167.60	100.00%
(* CIENTO SESENTA Y SIETE PESOS 60/100 M.N. *)						

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	Costo	Importe	%
Análisis: MBA14 Unidad: M2						
MURO DE 14 CM DE BLOCK DE CONCRETO DE 14X20X40 CM, ACABADO COMÚN, ASENTADO CON MEZCLA DE CEMENTO-ARENA 1:5, CON REFUERZOS HORIZONTALES A BASE DE ESCALERILLA A CADA DOS HILADAS, INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, EQUIPO Y HERRAMIENTA. Nota.- Sin Aplanado						
MATERIALES						
GA03	BLOCK DE CONCRETO PESADO 14x20x40 cm	PZA	13.000000	\$6.07	\$78.91	51.57%
GA33	ESCALERILLA CAL. 12	M	2.600000	\$2.60	\$6.76	4.42%
Subtotal: MATERIALES					\$85.67	55.99%
MANO DE OBRA						
1P1E	CUADRILLA No. 5 (1 ALBAÑIL + 1 PEÓN)	JOR	0.111111	\$471.43	\$52.38	34.23%
Subtotal: MANO DE OBRA					\$52.38	34.23%
BÁSICOS						
1:5	MORTERO CEMENTO ARENA 1:5	M3	0.016000	\$738.87	\$11.82	7.72%
Subtotal: BÁSICOS					\$11.82	7.72%
EQUIPO Y HERRAMIENTA						
%MO1	HERRAMIENTA MENOR	%	0.030000	\$52.38	\$1.57	1.03%
%MO2	ANDAMIOS	%	0.030000	\$52.38	\$1.57	1.03%
Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA					\$3.14	2.05%
COSTO DIRECTO					\$153.01	100.00%
(* CIENTO CINCUENTA Y TRES PESOS 01/100 M.N. *)						

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	Costo	Importe	%
Análisis: MTEL14 Unidad: M2						
MURO DE 12 CM DE TABICÓN EXTRA LIGERO DE 7X12X24 CM, ACABADO COMÚN, ASENTADO CON MEZCLA DE CEMENTO-ARENA 1:5, INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, EQUIPO Y HERRAMIENTA. Nota.- Sin Aplanado						
MATERIALES						
GA31	TABICON LIGERO EXTRA DE 7x12x24 cm	PZA	52.000000	\$1.48	\$76.96	48.38%
Subtotal: MATERIALES					\$76.96	48.38%
MANO DE OBRA						
1P1E	CUADRILLA No. 5 (1 ALBAÑIL + 1 PEÓN)	JOR	0.111111	\$471.43	\$52.38	32.93%
Subtotal: MANO DE OBRA					\$52.38	32.93%
BÁSICOS						
1:5	MORTERO CEMENTO ARENA 1:5	M3	0.036000	\$738.87	\$26.60	16.72%
Subtotal: BÁSICOS					\$26.60	16.72%
EQUIPO Y HERRAMIENTA						
%MO1	HERRAMIENTA MENOR	%	0.030000	\$52.38	\$1.57	0.99%
%MO2	ANDAMIOS	%	0.030000	\$52.38	\$1.57	0.99%
Subtotal: EQUIPO Y HERRAMIENTA					\$3.14	1.97%
COSTO DIRECTO					\$159.08	100.00%
(* CIENTO CINCUENTA Y NUEVE PESOS 08/100 M.N. *)						

Con los precios unitarios se genera un resumen de los costos (Tabla 18).

Tabla 18.- Comparativa de costo entre diferentes tipos de mamposterías.

Tipo de Pieza	Costo de la Pieza	Piezas por m ² de muro	Costo Directo de Muro por m ² , sin aplanado de mortero	Costo Directo Total de los Muros de la Casa Tipo
1.- Tabique de PEAD reciclado (4.5X9.0X18.0 cm)	\$ 1.00	128	\$ 252.29	\$ 22,398
2.- Tabique de barro recocido (5.5X12.0X24.0 cm)	\$ 1.34	64	\$ 167.60 (1.51)*	\$ 14,880
3.- Block de concreto (pesado) (14.0X20.0X40.0 cm)	\$ 6.07	13	\$ 153.01 (1.65)*	\$ 13,584
4.- Tabique de concreto (tabicón) (7.0X12.0X24.0 cm)	\$ 1.48	52	\$ 159.08 (1.59)*	\$ 14,123

* Factor de Costo de la Mampostería de PEAD, respecto de la mampostería tradicional.

La mampostería de PEAD presenta un sobre costo promedio de 58%, respecto de la mampostería tradicional.

7.- CONCLUSIONES

Los resultados sobre la resistencia de la mampostería de PEAD, se comparan en la Tabla 19.

Tabla 19.- Resumen de Propiedades Mecánicas de diferentes tipos de mamposterías

Propiedad Mecánica	Mampostería de PEAD, sin recubrimiento. (Kg/cm ²)	Mampostería de PEAD recubierta, ensayada en la U.A.E.M. (Kg/cm ²)	Mampostería de PEAD recubierta, ensayada en Holcim-Asasco (Kg/cm ²)	Mampostería de barro recocido, sin recubrimiento. (Kg/cm ²)
1.- Resistencia a Compresión de las Piezas (f_p^*)	0.67 (--- , 1.1%)*	---	---	≥ 60.00
2.- Resistencia de Diseño a Compresión Diagonal (V_m^*),	0.18 (4.1% , 6.0%)*	4.42	3.62	3.00
3.- Resistencia de Diseño a Compresión (f_m^*)	0.70 (5.7% , 4.7%)*	12.35	21.92	15.00
4.- Módulo de Elasticidad (E_m)	245 / 420 ** (3.3% , 9.7%)*	4322 / 7410 **	---	5250 / 14000 **

* Porcentaje de los resultados de la mampostería de PEAD sin refuerzo, respecto del PEAD combinado y del tabique de barro simple.

** Para cargas sostenidas / para cargas de corta duración.

✚ La mampostería de PEAD sin recubrimiento de metal desplegado y repellido, no es un material para formar elementos estructurales de mampostería (muros de carga). Sin embargo, no debe restarse su importancia, para los usos no estructurales (muros de relleno o divisorios), donde, por el bajo peso del tabique de PEAD, resulta atractivo, principalmente, para edificios de oficinas (corporativos), centros comerciales, viviendas y ampliaciones en general. Pudiendo competir con materiales de construcción, como la tablaroca, el durock y el panel “W”. También, mediante el uso del tabique de PEAD, se pueden explotar las

propiedades acústicas y térmicas que posee el plástico, así como una vida útil de más de 500 años, tiempo en el que comienza a degradarse.

La escasa *resistencia* que presenta la mampostería de PEAD, infiere en la necesidad de rediseñar el tabique de PEAD, reforzándolo, principalmente, en su estructura. Siendo más específico, se puede mejorar en los siguientes aspectos:

- ✦ El espesor de las paredes que conforman el perímetro del tabique, deben ser engrosadas. Actualmente, el espesor de la pared superior del tabique de PEAD es de aproximadamente de 3.0 mm y de 2.0 mm en las paredes inferior y laterales, respectivamente. Si se aumentara el espesor de las paredes del tabique de PEAD hasta los niveles señalados en la *sección 2.1.1.2* de las *N.T.C. de Mampostería*, se conseguiría mayor rigidez en las piezas y por lo tanto, mejores calificaciones en sus propiedades mecánicas.

- ✦ Se requiere rediseñar el machihembrado y el poste de ensamble, para que sean más rígidos. El poste en el machihembrado del tabique de PEAD tiene una discontinuidad, es decir, se divide en dos partes, presentando una inherente debilidad en esa zona, además de tener muy poco espesor de pared, de 1.0 mm a 2.0 mm aproximadamente. Los postes del tabique de PEAD juegan un papel muy importante, ya que toman carga y la transmiten. Su *resistencia*, entonces, depende de la rigidez que estos elementos verticales posean. Por ello, se debe aumentar el espesor de pared, a niveles cercanos a los señalados en la *sección 2.1.1.2* de las *N.T.C. de Mampostería*. Se recomienda fabricar el poste en una sola pieza, es decir, sin discontinuidades, aumentando su espesor, pudiendo éste, hasta llegar a ser sólido. También, el poste puede aumentar su peralte, para aumentar la unión entre las piezas, sería deseable, que se logre aplicando ligera presión, quizás mediante una cuerda o rosca en el

perímetro del poste, de manera que el acoplamiento logrado, oponga resistencia al querer separar las piezas y le de estabilidad a la mampostería de PEAD por sí misma, con el objeto de que no se dependa del confinamiento y del recubrimiento para obtener resistencia.

- ✦ Al momento de armar los muretes de ensayo (Figura 7), algunas piezas quedaron mejor trabadas o unidas que otras. Se detecta una falta de uniformidad entre las piezas terminadas, lo que indica un escaso control de calidad durante la fabricación del tabique de PEAD. De hecho el murete por sí solo es inestable, es decir, tiende a deshacerse fácilmente, lo que indica que el acoplamiento en el machihembrado, no es lo suficientemente fuerte para lograr la estabilidad del murete de ensayo. En este punto se indica que al hacer pasar alambre galvanizado a través de los orificios de los tabiques, el murete presentó mayor cohesión entre las piezas, en general, se observa que mejora bastante las propiedades de la mampostería de PEAD, sobre todo, en la unión entre las piezas.

- ✦ El tabique de PEAD no debe tener imperfecciones en su superficie, como es el caso de un orificio de aproximadamente 7 mm de diámetro, que se localiza en una pared vertical del tabique, que aunque, es creado por el mismo proceso de fabricación (extrusión-soplado), provoca concentraciones de esfuerzos o zonas de resistencia mínima. Quizás el proceso de fabricación pueda cambiar a algún otro como la inyección, el termoformado, o inclusive, un vaciado, como fue el caso de los cilindros sólidos de PEAD reciclado.

- ✦ El rediseño del tabique de PEAD, debe ser la base o fundamento para los requerimientos del sistema constructivo, así como de su costo.

- ✦ La pieza de mampostería de PEAD podría convertirse en un tabique sólido, de acuerdo a la definición de una pieza sólida por la norma NMX-C-036-ONNCCE-2004, cuyo desempeño mecánico sea máximo, siempre y cuando el costo lo permita. Es decir, el nuevo diseño del tabique de PEAD debe guardar un equilibrio entre su resistencia mecánica y su costo, para que pueda ser competitivo, con los precios de las mamposterías tradicionales que ofrece el mercado.

- ✦ Si el tabique de PEAD fuera sólido con las medidas actuales (4.5 X 9.0 X 18.0 cm), éste tan solo pesaría 0.57 Kg/pza, comparado con un tabique de barro recocido, que, con las mismas dimensiones, pesaría 0.95 Kg/pza, es decir, un tabique sólido de PEAD pesa el 60% de un tabique de barro recocido. Esto representa una ventaja para el PEAD sólido, por requerir una menor demanda estructural en la cimentación, por su bajo peso.

- ✦ También, hacer sólido al tabique de PEAD, puede traer ventajas para el método constructivo actual, debido a que demandaría menor refuerzo de acero y metal desplegado. Por lo que al conseguir ahorros en los costos del proceso constructivo, entonces, en alguna medida, se podrían subsanar los costos adicionales por producir al tabique de PEAD como una pieza sólida, o lo más cercana a ella. Tema que queda por valorarse en siguientes estudios.

- ✦ La superficie del tabique de PEAD es lisa. Al ser un material no pétreo, tiene poca adherencia con el mortero de cemento-cal-arena, o con el de yeso. Se podría diseñar la superficie de manera que tuviera cierta rugosidad, sobre todo en las paredes del tabique, que se aplanan o se repellan.

- ✦ La construcción de muros de PEAD con el sistema constructivo actual, resulta altamente costoso respecto de los procesos constructivos de la mampostería tradicional. Siendo el precio de la pieza de PEAD, uno de los que más impactan en el análisis de precio unitario y de acuerdo con éste, si el tabique de PEAD costara \$0.28, éste sería competitivo económicamente, comparado con el promedio del costo para otros tipos de piezas (Tabla 18). Por su origen el tabique de PEAD debería ser muy económico, al ser proveniente de la recolección de desechos plásticos que existen en abundancia, también porque el proceso de producción para fabricar el tabique de PEAD no es muy sofisticado.

- ✦ Se dice que en el sistema constructivo (*S.M.P.A.*) se dan ahorros en la cimentación, debido al bajo peso del tabique de PEAD, entonces, se debe comparar si el ahorro económico en la cimentación, es mayor o igual que el sobre costo que presentan los muros.

- ✦ El hecho de que los resultados obtenidos para el tabique de PEAD y para el costo de su sistema constructivo, no sean favorables, no quiere decir que la idea de fabricar un tabique a partir de desechos plásticos sea mala. **Más bien, es indicativo, que se debe buscar la manera para lograr que el tabique de PEAD sea un producto con resistencia y economía.**

- ✦ Con las observaciones sugeridas para el rediseño del tabique de PEAD, se cree que aumente su capacidad para resistir esfuerzos mecánicos, sin embargo, no se puede precisar en qué magnitud, hasta contar con nuevas piezas para ser probadas.

- ✦ Adicionalmente a las sugerencias para un diseño mecánico satisfactorio, se menciona que la pieza de PEAD, constructivamente hablando, puede tener características funcionales. Por ejemplo, pueden fabricarse piezas especiales donde pasen tuberías de instalaciones eléctricas e hidrosanitarias por hiladas horizontales. También, pueden fabricarse piezas que permitan recibir centros de carga eléctricos y otros accesorios.

bibliografía

- 1.- Revista.- *Proyecto Construcción* / Mauricio Pineda Castro, “Rápidas y ecológicas, Edificaciones con ladrillos de plástico”, Noviembre de 2005.
- 2.- Tesis.- *Universidad Autónoma del Estado de México (U.A.E.M.)*, “Sistema de Construcción de Vivienda a Base de Mampostería de Plástico y Acero Estructural de Refuerzo”, Antonio Navarro Valdés y José Iván Fernández Ahuja, Toluca, México, 2004.
- 3.- Presentación de Power Point.- “Soluciones Ecológicas”, *Estructuras e Ingeniería en Reciclables S.A. de C.V.*, Ing. Mariano Nuñez V, Octubre de 2007.
- 4.- Manual de Construcción.- “Sistema CERO’S”, *Tabiques y Estructuras Reciclables S.A. de C.V.*, Ing. Mariano Nuñez V, Marzo de 2007.
- 5.- Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, Gaceta Oficial del Distrito Federal No. 103-BIS, México D.F., 6 de Octubre de 2004.
- 6.- Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, Gaceta Oficial del Distrito Federal No. 103-BIS, México D.F., 6 de Octubre de 2004.
- 7.- Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo, Gaceta Oficial del Distrito Federal.

bibliografía

- 8.- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C. (ONNCCE), “Industria de la Construcción – Bloques, tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines, Resistencia a la Compresión – Método de Prueba”, NMX-C-036-ONNCCE-2002. Diario Oficial 23 de mayo de 2003.
- 9.- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C. (ONNCCE), Especificaciones de Resistencia – NMX-C-404-ONNCCE-2005. Diario Oficial 25 de abril de 2005.
- 10.- Instituto Nacional de Recicladores, A.C. (INARE 2000).
- 11.- Arturo Cristán Frías , Irina Ize Lema y Arturo Gavilán García, “Situación de los Envases Plásticos en México”, Instituto Nacional de Ecología.
www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/422/envases.html
- 12.- “Estudio Actual de la Vivienda en México 2005”, CONAFOVI.
- 13.- Reforma / Karla Ramírez, “Prevén abatir en 15 años el rezago en la vivienda”, 9 de noviembre de 2005.
- 14.- Reforma / Karla Ramírez, “Hecha a prueba del Lobo Feroz”, 11 de noviembre de 2005.
- 15.- Gaceta Parlamentaria, Cámara de Diputados, Sesión del 7 de diciembre de 2000.
- 16.- El Universal / Francisco Rosas, “Viviendas de Plástico”, 30 de marzo de 2007.

bibliografía

- 17.- El Universal / Francisco Rosas, "Casas de paja, una alternativa",
27 de abril de 2007.
- 18.- El Universal / Francisco Rosas, "Reciclan y Construyen",
11 de mayo de 2007.
- 19.- www.plasticplanet.com, "Todo sobre reciclaje de plásticos,
Polietileno de Alta Densidad".
- 20.- Expansión, "Emprender para ampliar tus horizontes", México D.F.,
8 de noviembre de 2006.
- 21.- Planta Arquitectónica y Catálogo de Conceptos.- "Casa Tipo",
Tabiques y Estructuras Reciclables S.A. de C.V., Ing. Mariano
Nuñez V, abril de 2007.
- 22.- Base de Datos "Cotizador Abril de 2007", Neodata S.A. de C.V.,
www.neodata.com.mx
- 23.- Josep Gibergans Baguena, "Regresión Lineal Simple",
www.uoc.edu
- 24.- Artículo.- Loreley Vázquez, "El Plástico".
- 25.- Artículo.- "El plástico en la construcción", Cámara Mexicana de la
Industria de la Construcción, Boletín informativo 15 de noviembre
de 2004.
- 26.- Informe de "Ensaye a Compresión en Muros de Mampostería" y
"Ensaye a Esfuerzo Cortante en Muros de Mampostería",
Laboratorio Holcim-Apasco, Toluca, Estado de México.