



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Estudio de las características mecánicas
de un tabicón elaborado con una mezcla
de arena, cemento y tereftalato de
polietileno (PET), como agregado grueso**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Civil

P R E S E N T A

Luis Ramón Pérez López

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Arnulfo Ortiz Gómez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MEXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/79/2013

Señor
LUIS RAMON PEREZ LOPEZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor DR. ARNULFO ORTÍZ GÓMEZ que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted conforme a la opción I. "Titulación mediante tesis o tesina y examen profesional", para obtener su título en INGENIERIA CIVIL

"ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE UN TABICÓN ELABORADO CON UNA MEZCLA DE ARENA, CEMENTO Y TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET), COMO AGREGADO GRUESO"

INTRODUCCIÓN

- I. CARACTERÍSTICAS DE UN TABICÓN ELABORADO CON UNA MEZCLA DE AREA-CEMENTO-GRANZÓN.
 - II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET).
 - III. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLDE ARTESANAL PARA LA ELABORACION DE UN TABICÓN HECHO CON TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)
 - IV. DISEÑO DE LA MEZCLA ARENA-CEMENTO TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)
 - V. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS TABICÓN ELABORADO CON TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)
 - VI. COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE UN TABICÓN COMÚN Y UN TABICÓN ELABORADO CON TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)
 - VII. RESULTADOS Y CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFÍA**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"

Cd. Universitaria a 8 de Mayo de 2014

EL PRESIDENTE DEL COMITÉ

M. ENI. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ
JLTS/MTH

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la **Universidad Nacional Autónoma de México** por haberme aceptado y formar parte de su comunidad, en donde siempre la defenderé tan dignamente pues es para mí, mi segunda casa.

Agradezco a la **Facultad de Ingeniería** por haber permitido mi formación académica como humana, aquí sacie mi sed de conocimiento... Gracias infinitas.

Dr. Arnulfo Ortiz Gómez, por haber depositado su confianza en mí, para este tema de tesis, que siempre estuvo al pendiente de cada detalle, por su apoyo y paciencia... Gracias.

A mis sinodales:

Al **M. I. Héctor J. Guzmán Olguín** por sus comentarios y por todas las facilidades otorgadas en el laboratorio de materiales, su personal tan valioso para la falla del tabicón, sin su ayuda no hubiera podido realizarla, mi agradecimiento sincero por siempre.

Al **M. I. Agustín Demeneghi Colina**, por su interés en el tema y sus comentarios...Gracias.

Al **Ing. Marcos Trejo Hernández** por su aportación e interés por el tema...Gracias.

Al **Fís. Salvador Enrique Villalobos Pérez** que desde que lo conocí siempre fue una persona sincera y amigable, por su aportación a este tema de tesis... Gracias.

A todos y a cada uno de mis compañeros que conocí en la Facultad de Ingeniería, de cada uno aprendí que se puede compartir el conocimiento, la sinceridad y la humildad, cada uno es un pilar importante para esta comunidad , mi respeto y mi admiración por siempre... sé que ahora mismo están cumpliendo sus sueños...Gracias.

DEDICATORIAS

A Dios que me dio la oportunidad de darme la vida, que me iluminara y conociera este mundo...

A toda la Familia Pérez... que siempre me han cobijado como un hijo más... y a tan grandiosa gente de Dr. Arroyo N. L. por aceptarme como uno más de los suyos... cuando estuve por allá, Tíos, Tías, primos y primas...amistades.

A toda la Familia López... que siempre se han preocupado por las cosas que hago todos los días... Tíos, Tías, primos y primas...amistades. Y a toda la gran familia del Carmen Hgo.

A mis Padrinos, Israel Cruz, Guadalupe, Emiliano Balderas, Claudia Santiago, que siempre me dieron sus consejos en las buenas y en las malas...

A mis grandes amigos y amigas, Alfonso Rosales, Akiles, Carlos Juárez, Darve Martínez, Delfino Rivera, Elena, Elizabeth, Francisco Martínez, José Loeza, José Luis Hernández, José Luis Molina, José Ramón Valdez, José Meza, Julio Cesar, Miguel Ángel, Rafael López, Pathy, Roger, Roberto. Más que ser mis amigos y amigas los considero como mis hermanos.

En donde estés gran amigo... esta tesis te la dedico, porque teníamos el mismo gran sueño de terminar la carrera... este triunfo es también tuyo...

Daniel González Castañeda (Gume) †

Hermana, sé que hemos compartido momentos difíciles y de alguna manera u otra hemos salido adelante, gracias por darme tu confianza y tu apoyo incondicional por siempre... y por esos pequeñines Ariel, Ian y Selene...

Esmeralda Pérez López

Hermana tú también has dado lo mejor de ti...gracias por tu paciencia y confianza, cuando he necesitado de algún consejo siempre has estado ahí, gracias por tu apoyo incondicional por siempre y por ese pequeñin Yael...

Brenda Pérez López

Madre siempre me has apoyado, gracias por siempre estar cuidando mis pasos, tu carácter fue un aliciente más para terminar esta carrera... Dios te bendiga...

Cleotilde López Cruz

Padre cumpliste tu misión, me forjaste y aprendí de ti todo lo que sé... mucho de lo que soy ahora te lo debo a ti... y aunque a veces yo no entendía lo que querías decirme, siempre tuviste la paciencia de darme lo mejor de ti...ahora sé que debo ser mejor persona... gracias por siempre...

Ramón Pérez Limón †

Introducción	1
I. Características de un tabicón elaborado con mezcla arena-cemento-granzón	4
I.1 Características molde de un tabicón.....	8
I.2 Diseño de la mezcla y método de vaciado.....	10
I.3 Tiempos de secado.....	12
II. Características físicas del Tereftalato de Polietileno (PET)	14
II.1 Origen del PET.....	14
II.2 Características físicas del PET.....	19
II.3 Características químicas del PET.....	21
II.4 Mezclas comunes de PET con otros materiales.....	24
III. Diseño y construcción de un molde artesanal para la elaboración de un tabicón hecho con Tereftalato de Polietileno (PET)	27
III.1 Diseño del molde.....	27
III. 2 Características físicas del Molde.....	30
IV. Diseño de la mezcla arena-cemento y Tereftalato de Polietileno (PET)	31
IV.1 Diseño de la mezcla.....	31
IV.2 Características físicas y químicas de la mezcla	35
IV.2.1 Características de la mezcla.....	36
IV.2.1.1 Físicas.....	36
IV.3 Formas de llenado y compactado del molde.....	38
IV.4 Determinación de los tiempos de secado del tabicón.....	41
IV.4.1 Formas de secado del tabicón	41

V. Determinación de las características mecánicas del tabicón elaborado con Tereftalato de Polietileno (PET).....	43
V.1 Esfuerzo compresión, P	43
V.2 Esfuerzo tensión, τ	60
V.3 Esfuerzo cortante, σ	70
V.4 Prueba de absorción de humedad.....	75
VI. Comparación de las características mecánicas de un tabicón común y un tabicón elaborado con Tereftalato de Polietileno (PET)	76
VI.1 Esfuerzo compresión, P.....	76
VI.2 Esfuerzo tensión, τ	79
VI.3 Esfuerzo cortante, σ	79
VI.4 Prueba de absorción de humedad	80
VII. Resultados y conclusiones.....	81
VII.1 Análisis de resultados.....	81
VII.2 Viabilidad de la construcción del tabicón de Tereftalato de Polietileno (PET).....	85
VII.3 Recomendaciones.....	86
VII.4 Conclusiones.....	87
Anexo A.....	88
Anexo B.....	93
Anexo C.....	97
Anexo D.....	100
Bibliografía y referencias.....	101

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el compromiso de la Ingeniería Civil con la investigación de nuevos materiales para mejorar las construcciones es demandante, por lo que se requiere de innovaciones constantes en la implementación de nuevos productos utilizados en la edificación. Surge como una preocupación actual buscar materiales y diseños actuales, que permitan dar solución a problemas de hundimientos, agrietamientos o cualquier otro tipo de daño en las edificaciones, por condiciones tan diversas que se pueden presentar en el suelo de sustentación y tan ajenas al mismo como es la región geográfica.

Uno de los elementos fundamentales en la edificación de casas habitación son los tabiques fabricados con arcilla y cocidos en hornos para mejorar sus propiedades mecánicas de resistencia a la compresión, P y esfuerzo cortante, σ . Una variedad distinta de tabique conocida como “*tabicón*” se fabrica con hormigón, utilizando como agregado grueso una variedad de piedra pómez que vuelve al tabique más ligero y permite aumentar su espesor considerablemente. Éste tipo de concreto se conoce, también como concreto liviano.

Los primeros concretos livianos utilizados por el hombre para construir edificaciones surgieron en el Imperio Romano en el año 25 a.C. En esa época eran el resultado de la mezcla de cementos puzolánicos con materiales de baja densidad como la piedra pómez, producidas en los volcanes existentes. Entre las obras realizadas con este tipo de concreto destacan: La cúpula del Panteón de Agripa (25 a.C), los arcos del Coliseo Romano (70 D.C), arcos con luces mayores a 25 metros.

Por otro lado, los primeros edificios construidos con concretos livianos estructurales aparecieron luego de la Primera Guerra Mundial. En el año 1922 se construyó la ampliación del Gimnasio de la escuela de deportes acuáticos de la ciudad de Kansas y fue este el primer edificio construido con concreto liviano estructural en la historia. El suelo donde se cimentó este edificio tenía una capacidad portante muy baja, por esta razón se optó por utilizar un concreto liviano y poder así aligerar el peso que se descargaba al suelo.

Para el año 1928, en los Estados Unidos de Norteamérica, se realizó un estudio para incrementar el número de pisos del edificio de oficinas de la compañía de teléfono Southwestern Bell Telephone Company en la ciudad de Kansas, Missouri. Originalmente el edificio constaba con 14 pisos, pero se realizaron estudios en la cimentación y se determinó que a la estructura se le podían adicionar 8 pisos más utilizando concreto convencional. Pero debido a que se utilizó concreto liviano fabricado con arcillas expandidas se pudo aumentar la estructura hasta 14 pisos más.

Posteriormente fue hacia el año 1917 que Stephen J. Hayde, un fabricante de ladrillos de 54 años en Kansas City, desarrolló, en América, un proceso con el cual, mediante un horno tubular giratorio, logró expandir pizarras y arcillas para así obtener un agregado liviano de baja densidad. Con este producto se consiguió por

primera vez concretos livianos, que a igual resistencia presentan una densidad mucho menor de aproximadamente un 40% de menos peso.

En la búsqueda de otro material que se pueda utilizar como agregado grueso en la fabricación del hormigón con el que se elabora el “*tabicón*” se pensó en la utilización de plástico, producto de los envases de todo tipo de bebidas, conocido como Tereftalato de Polietileno (PET).

La presencia de plástico en las envolturas en la gran mayoría productos de consumo general, ha producido una cantidad de éste material en los depósitos de basura y plantas de tratamiento; cuando se tiene conciencia del grado de contaminación que genera el plástico. Muchas de las veces el plástico se encuentra tirado en las calles, junto a coladeras, causando daños como taponamiento de coladeras y consecuentemente inundaciones. En el caso de registros horizontales de instalaciones de la ciudad, genera basureros clandestinos con la proliferación de animales y bichos, y en casos más extremos sobrecalentamiento de cables conductores y llevando a fallas de suministro eléctrico, mal funcionamiento de las redes de comunicación etc. En muchos de los cauces de ríos y barrancas también se tienen depósitos de envases de plástico que sirvieron como envase de bebidas, detergentes, jabones, desinfectantes, etc. que están provocando problemas serios de contaminación en estas áreas.

En el Capítulo I se presentan las características de un “*tabicón*” común elaborado con cemento arena y granzón, que sirven como antecedente de comparación con las propiedades mecánicas del “*tabicón*” elaborado con PET.

El Capítulo II menciona el origen y características físico-químicas de PET.

En el Capítulo III se hace una descripción del diseño y construcción del molde con el cual se fabricaron los tabiques, de acuerdo al Reglamento de Construcción del Distrito Federal. Así como algunas mejoras que en nuestra opinión se pueden implementar el diseño. El Capítulo IV se presenta el diseño de la mezcla con la que se elaboraron los tabiques y las pruebas a las que se sometió el hormigón.

El Capítulo V trata de las distintas pruebas a las que fue sometido el “*tabicón*” elaborado con PET, la manera en que se realizaron las muestras y ensayos y los resultados que encontramos.

En el Capítulo VI establecemos las comparaciones entre los resultados de un “*tabicón*” común y un tabicón elaborado con PET. Y finalmente establecemos los resultados y conclusiones en el Capítulo VII.

OBJETIVOS

- El objetivo principal de éste trabajo es el diseño y la fabricación de un “*tabicón*”, elaborado con una mezcla de cemento, arena y PET como agregado grueso y fabricado de manera artesanal para que se utilice en la auto construcción de vivienda, el “*tabicón*” será probado en el laboratorio para saber su resistencia a la compresión, P y al esfuerzo cortante σ , y demás pruebas que señala el Reglamento de construcción del Distrito Federal y sus Normas Complementarias.
- Encontrar alternativas en los materiales de construcción que permitan aligerar el peso en nuestras construcciones.
- Uno de los objetivos propuestos en el presente trabajo es proponer una alternativa para sacar una parte del Tereftalato de Polietileno (PET), de las calles, barrancas y cauces de ríos, mediante la utilización del PET como agregado grueso en la fabricación artesanal de tabicones que puedan ser utilizados en la autoconstrucción de vivienda.
- Además de buscar una solución sólida, hablando específicamente de las botellas de plástico, compuesto de Tereftalato de Polietileno (PET), ya que son cantidades enormes que no son aprovechables al cien por ciento y que terminan contaminando el ambiente que nos rodea.
- Se expone en este trabajo en diseñar y elaborar un prototipo de “*tabicón*” combinando arena, cemento y usando Tereftalato de Polietileno (PET) como granzón, con dimensiones dentro del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal y Normas Técnicas Complementarias.

Con ayuda de un molde, se podrá fabricar este tabicón que será sometido a prueba de laboratorio, para el análisis de falla, sobre su comportamiento a fuerzas de tensión y compresión. Su composición tendrá que tener los elementos suficientes para cumplir con las normas y lineamientos al Reglamento de Construcciones del Distrito Federal y Normas Técnicas Complementarias. Y además que se hará una comparación de las características mecánicas, este tabicón con uno común. Para poder determinar las características mecánicas del tabicón elaborado con Tereftalato de Polietileno (PET), se va aplicar fórmulas de que se encuentran en el apartado de Diseño y construcción de estructuras de mampostería de las Normas Técnicas complementarias nos ayudara a predecir su comportamiento con los

esfuerzos sometidos en el laboratorio. Los esfuerzos finales de los esfuerzos cortantes, esfuerzos por tensión y esfuerzos por compresión.

I. CARACTERÍSTICAS DE UN TABICÓN ELABORADO CON UNA MEZCLA DE ARENA-CEMENTO-GRANZÓN.

El volumen de forma prismática fabricado por el molde, es siempre macizo y puede ser utilizado como parte de la estructura o no estructural (en el caso de muros divisorios). El tabicón es un producto compacto de forma rectangular, tridimensional de color natural grisáceo de superficie rugosa y con diversos tipos de acabados, de acuerdo a las necesidades y gustos del constructor.

Existen comercialmente dos tipos de tabicón sólido pesado y ligero cuya diferencia es el peso y los materiales utilizados para su fabricación, es decir el peso de un tabicón ligero es aproximadamente del 30% menor que del tabicón pesado.

Las características que del tabicón se definen por su densidad $\rho = m/V$ (que es una magnitud referida a la cantidad de masa contenido en un determinado volumen, y puede utilizarse en términos absolutos o relativos) que depende fundamentalmente del peso de los agregados, de la compactación y la dosificación de la mezcla. La resistencia a la compresión es una de las principales características que se debe verificar y se rige por la norma **NMX-C-0036-ONNCCE-2004**. Respecto al acabado y a la apariencia de todas las unidades deben ser sanas, sin fisuras ni defectos que interfieran con el proceso de colocación. La absorción es la capacidad del concreto para absorber el agua y está directamente relacionada con la permeabilidad, o sea con el paso del agua a través de sus paredes regida por la norma **NMX-C-0037-ONNCCE-2005**. En tanto, las dimensiones se determinan por su espesor, ancho y longitud referente a la norma **NMX-C-0038-ONNCCE-2004**.

Los tabicones sólidos de concreto se pueden clasificar por su grado de calidad,(A-B-C), en esta clasificación el tabicón de tipo A es apto para muros interiores y exteriores, de carga o de relleno su baja absorción se permite su uso sin recubrimiento, para el tipo B es apto para muros interiores y exteriores, de carga o de relleno , en muros exteriores debe protegerse de la intemperie mediante el recubrimiento o sellador impermeable y para la calidad C es apto para interiores de relleno por su alto porcentaje de absorción no es recomendable su uso para exteriores y en caso de hacerlo deben protegerse perfectamente por medio de sellador o impermeable.

La calidad del tabicón macizo es función directa de la capacidad de a la compresión y absorción del agua. En la tabla 1 se muestran las características de los tabicones según su capacidad de carga.

Tabla 1. Características físicas de los tabicones de acuerdo a su capacidad de carga.

Características	A	B	C
Resistencia mínima a la compresión en MPa.	14	8	6

Los tabicones según su grado de calidad deben cumplir, además de lo indicado en la Tabla 2, con las siguientes condiciones; largo 24 a 30 cm , ancho 10 a 30 cm y alto de 6 a 15 cm dentro de las tolerancias especificadas; largo 2 cm, ancho 2 cm, altura o peralte 3 cm en porcentaje. Las dimensiones nominales de las piezas en se basan en módulos de 10 cm en múltiplos o submúltiplos. Todos los tabicones deben estar exentos de grietas, despostilladas y defectos que puedan disminuir su resistencia.

Por su aspecto básico de durabilidad y seguridad, la edificación con tabicones prefabricados es un sistema adaptable a condiciones de producción y construcción, de tecnología sencilla, en lugares apartados, pues al combinar sus características estructurales se obtienen estructuras duraderas de bajo mantenimiento y de gran apariencia.

El tabicón es ampliamente utilizado en la industria de la construcción principalmente en el área de edificación: en particular para el proyecto, el tabicón está destinado a un segmento de mercado en edificaciones de viviendas; construcción de muros o paredes, bardas, bodegas, canales de drenaje, cisternas, resguardo y otras. Los sistemas constructivos utilizados en la vivienda de interés social han sido muy tradicionales, con poca tecnicidad e intensidad en mano de obra, la gran mayoría de las construcciones es a base de muros de mampostería y losas de concreto. Cifras de INEGI indican que en México, en 1990 el 70% de las viviendas se constituían a base de muros cifra que aumento en el año 2004 al 80%. Esto obedece, por una parte, a la preferencia de la población por estos materiales y a la disponibilidad de la mano de obra barata. Sin embargo se requiere de más de 4.5 millones de viviendas nuevas 3 millones de adecuaciones en la viviendas actuales para el periodo 2012-2018. Esto para darnos una idea de la demanda del tabicón para la construcción de vivienda.

HISTORIA DEL LADRILLO

El ladrillo es el material de construcción más antiguo fabricado por el hombre. Los primeros ladrillos se fabricaron en Oriente Medio hace más de 6.000 años utilizándose un método primitivo, todavía vigente en cabañas de adobe de África y centro y Sudamérica. Se fabricaban allí donde se disponía de arcilla: zonas próximas a los ríos o llanuras aluviales. En función del lugar de procedencia el color y la textura eran variables. El ladrillo ha sido un material muy apreciado en zonas

del norte de Europa: Países Bajos, Alemania y Gran Bretaña, donde se utilizaba en edificios domésticos o en palacios y castillos. Los enladrillados poli-cromáticos propios de la arquitectura neogótica del siglo XIX supusieron otro desarrollo estilístico europeo que se extendió por el mundo. En la actualidad el ladrillo es un material muy presente en el ámbito doméstico. A lo largo del siglo XX reconocidos diseñadores y arquitectos han demostrado en forma fehaciente el papel contemporáneo que puede asumir el ladrillo.

DEFINICIÓN DE LADRILLO.

Pieza de cerámica de forma ortoédrica y de poco grosor, formada a partir de arcilla amasada secada y cocida, que se utiliza para construir muros. Los ladrillos son piezas de forma de paralelepípedo resultantes de la cocción de tierras arcillosas. Por su fabricación se clasifican en:

Ladrillos de Tejar

Hechos a mano, toscos, de caras rugosas y no muy planas. Ladrillos Mecánicos o Cerámicos: Se obtienen con arcillas seleccionadas, moldeadas con máquinas o prensas, cocidos en hornos de fábrica, lo que se traduce en uniformidad de tamaño y cocción. Estos últimos pueden ser:

Ladrillo Macizo

Ladrillo cuyo interior no presenta más de un 10% de volumen de huecos. Se denomina Ladrillo Macizo o tocho a aquel que no tiene orificios o, si los tiene, éstos están en su cara mayor.

Ladrillo Hueco

Ladrillo cuyo interior presenta más del 33% de volumen de huecos, que tienen forma cilíndrica y longitudinales. Se denomina ladrillo hueco a aquel cuyos agujeros se encuentran en las caras laterales de la pieza. Son piezas de utilización muy frecuente, de diferentes dimensiones y cantidad variable de agujeros.

Ladrillo doble hueco o *tochana*: aquel que posee 6 agujeros en la cabeza y un grosor de entre 7,5 y 10 cm.

Ladrillos Refractarios

Estos son de dos tipos, según su contenido de arcillas con sílices o alúminas. Sus características les permiten soportar temperaturas muy elevadas, aunque ambos se comportan de diferente manera.

Ladrillos Refractarios con Alto Contenido en Alúmina

Estos ladrillos tienen un coeficiente de dilatación térmica muy bajo, por lo cual están preparados para soportar altas temperaturas y luego se enfrían sin llegar a presentar dilataciones o deformaciones significativas que lo afecten. Son ladrillos de alto costo porque son escasas las arcillas con que se fabrican.

Ladrillos Refractarios con Alto Contenido de Sílice

Estos ladrillos pueden soportar altas temperaturas, y a diferencia de los anteriores, se dilatan de manera considerable cuando son sometidos a fases alternativas y continuas de calor y frío. Dichos cambios bruscos de temperatura los afecta de tal modo, que finalmente los desintegra. Se los emplea en aquellos sitios donde las temperaturas altas son continuas.

Características de los Ladrillos Refractarios

- El color que adoptan estos ladrillos se debe al proceso de fabricación; pueden ser amarronados ó pardo blancuzcos.
- Piezas de alta densidad.
- Poseen textura lisa y homogénea.
- Baja conductividad térmica.
- Alto punto de fusión.

Ladrillo vitrificado: se empleaban ya en los pavimentos de la antigua Babilonia, en los tiempos del rey Nabucodonosor (607 a 561 a. C); ladrillos que han sobrevivido siglos hasta el presente. En el siglo XX, el país que más uso ha dado a los ladrillos vitrificados para pavimentar, es Holanda, en esa región de Europa no abunda la roca y por ello se lo ha empleado en todo tipo de construcciones. Son tan duros y resistentes los ladrillos cocidos holandeses, que allí se los conoce con el nombre de.

I.1 CARACTERÍSTICAS MOLDE DE UN TABICÓN.

El molde del sólido terminado, debe tener la forma de un prisma hueco, cuyas dimensiones, de acuerdo a la norma **NMX-C-0038-ONNCCE-2004**, se especifican en la tabla 2.

Tabla 2. Dimensiones del prima sólido, producto del moldeado del concreto y vaciado del concreto.

Largo	28 cm
Ancho	14 cm
Espesor	10 cm
Peso	1.5 a 5.0 kg
Resistencia min promedio a la compresión	35 kg/cm ²
Espesor del muro	10 a 14 cm

Para la fabricación del tabicón actualmente se utilizan máquinas denominadas bloqueras las cuales tienen características distintas dependiendo del número de unidades que se fabrican por ciclo, existen maquinas en el mercado cuyos modelos se pueden operar manualmente, semiautomático, automático y computarizado. Equipos con capacidades de producción desde 1 000 a 12 000 unidades por jornada de ocho horas. La elección de la maquinaria adecuada a las necesidades, depende de la capacidad instalada a en la planta así como de la demanda del producto y lo más importante que es la capacidad monetaria, en la Figuras 1.1 presentamos algunos tipos de bloqueras y sus características.



Bloquera móvil de ocho piezas por ciclo, compactado por vibración		
Piezas por operación	Ciclos por hora	Piezas por jornada
8.0	15.0	960.0



Bloquera fija de ocho piezas por ciclo, compactado por vibración		
Piezas por operación	Ciclos por hora	Piezas por jornada
8.0	90.0	5760.0



Bloquera fija de ocho piezas por ciclo, compactado por vibración		
Piezas por operación	Ciclos por hora	Piezas por jornada
12.0	65.0	6240.0

Figura 1.1 Tipos de bloqueras que existen en el mercado con sus características y que se pueden ajustar a todos los presupuestos.

I.2 DISEÑO DE LA MEZCLA Y MÉTODO DE VACIADO.

Materiales. El tabicón sólido de concreto está conformado por una mezcla de materiales compactados:

- Agregados finos y gruesos (granzón, Tepicil y arena)
- Tepicil: es un mineral de origen volcánico de color blanco, de consistencia suave y porosa muy parecido a la piedra pómez, se distingue por su gran facilidad para moldear y capacidad de cohesión, en la Figura 6 se muestra una imagen del Tepicil natural.
- Cemento: es un conglomerante hidráulico que, mezclado con agregados pétreos (arena más grava) y agua, crea una mezcla uniforme maleable y plástica que fragua y se endurece al reaccionar con el agua, adquiriendo consistencia pétreo, denominado hormigón o concreto. Su uso está generalizado en construcción e Ingeniería Civil, siendo su principal función la de aglutinante. El cemento Portland compuesto (CPC 40) es el más recomendado en la construcción de elementos estructurales de alta resistencia y el preferido para la elaboración de tabicones y otros productos comprimidos.
- Aditivos: este material es utilizado en el proceso de fabricación del tabicón sólido de concreto para tener un mayor rendimiento del cemento, que es el material más costoso, entre otras funciones como acelerar o retardar del proceso de fraguado del cemento.



Figura 1.2 Imagen de una muestra de Tepicil natural

Una parte importante para el proceso de manufactura es la recepción y almacenaje de la materia prima (Tepicil, granzón, arena y cemento), manteniendo los materiales en condiciones óptimas para no alterar la calidad final del producto.

Esta actividad marca el inicio del proceso de control de calidad, y consiste en evitar que la materia prima entre en contacto (desde su extracción hasta la llegada al almacén) con material orgánico como tierra vegetal, pasto, palos, etc.

El cemento, por su parte, como se compra a granel, debe ser aislado lo más posible para evitar el contacto con el agua y pueda iniciar su proceso de fraguado. La existencia de contaminación en la materia prima origina que se tenga una mayor demanda de cemento, esto nos lleva a un incremento en el costo del producto terminado.

Mezclado de los materiales

Una mezcla es una materia formada al combinar dos o más sustancias sin que suceda una reacción.

Esta es una de las partes más importantes del proceso, ya que de la mezcla depende el 70% de la calidad final del producto. La alimentación a este proceso se realiza a carretillas en un proceso manual y mediante equipos en un proceso automatizado dosificando el material en cantidad y tiempo previamente especificados, 1:3:2 (una parte de cemento, por tres de granzón y dos de arena).

Los agregados se mezclan para formar una pasta semihúmeda, se coloca en la mezcladora que mediante su paleta agita perfectamente, se determina la humedad de los agregados y así agregar la cantidad de agua necesaria para alcanzar una mezcla óptima. Ya lista la mezcla es transportada a la maquina prensadora.

El balance adecuado de agregados finos y gruesos, permite que durante la mezcla se necesite una cantidad de cemento razonable logrando que el producto cumpla con las especificaciones de dureza requerida por la norma NMX-C-441-ONNCCE-2005 donde se indica para el tabicón sólido de concreto una resistencia a la compresión de (30 kg/cm²) aunque estos valores pueden ser inferiores si el reglamento local lo permite.

El proceso de reacción del cemento es de 30 minutos durante ese periodo de tiempo el cemento forma ligas llamadas intriguillas cuya función es atraer y unir partículas como los agregados finos y gruesos evitando la existencia de espacios vacíos entre ellos que ocasionen fracturas en el producto.

Las formas y tamaños del tabicón sólido de concreto se estandarizaron para lograr una uniformidad en las construcciones, las medidas más comunes que existen en el mercado son $7x14x28$ cm, y se encuentran dentro del rango mencionado en la norma NMX-C-441-ONNCCE-2005 en el apartado de especificaciones.

El proceso de compactación o consolidación del concreto es la operación por medio por el cual se reduce el volumen de mezcla de concreto y agregados de un volumen mínimo práctico; usualmente se usan los métodos de vibración, centrifugado, apisonado o alguna combinación de ellos que permita reducir los espacios vacíos del mismo.

La vibración es el método de asentamiento más eficaz dando un producto un producto con características bien definidas como son la resistencia mecánica, compacidad y un buen acabado. Consiste en someter el concreto que es recibido previamente en los moldes, con las medidas establecidas, a una serie de sacudidas con una frecuencia alta, mediante equipo de elevada potencia.

I.3 TIEMPOS DE SECADO QUE PERMITE AL TABIQUE ALCANZAR LAS RESISTENCIAS MÁXIMAS.

El producto moldeado es recibido en bases de madera o placas de metal que ayudan al traslado hacia la zona destinada para el almacenamiento en lo que el material fragua. En esta parte lo más usual es cubrir los tabicones apilados con plástico para evitar la pérdida de humedad mientras que comienza la etapa de curado.

El tiempo otorgado para que el material fragüe es de dos a tres días a temperatura ambiente, la etapa de curado del tabicón sólido de concreto pretende mantener en condiciones óptimas la humedad y temperatura, por lo cual es recomendable el riego directo de agua en periodos de cuatro horas (tres riegos por día). A manera de lo posible se recomienda, también cubrir el producto con una lona o plástico para mantener la humedad y la temperatura de los tabicones sólidos de concreto.

Al mantener húmedo el tabicón sólido de concreto, se logra que se haga más resistente; la adherencia entre la pasta y los agregados, cuando el material seca inicia la etapa de desmontado, en la que el tabicón sólido de concreto es retirado de las tarimas o placas de metal y es transportado para ser almacenado y posteriormente marcado, envasado y preparado para ser embarcado para su venta.

A continuación se presenta un diagrama de producción con el objeto de mostrar el seguimiento de cada una de las etapas de elaboración del tabicón sólido de concreto:

La etapa I.

En esta primera etapa esta la adquisición de los insumos (agregados gruesos y finos; cemento, arena y granzón), el transporte y almacenamiento y cuidado de los mismos, Esto último para evitar cualquier tipo de contaminación que ponga en riesgo el proceso de calidad de tabicón solido de concreto. Pasa a la etapa II

La etapa II.

Ésta etapa comprende la mezcla de o revoltura de los materiales, que puede ser a máquina o a mano, el uso de las maquinas se ha convertido en una práctica recurrente debido a la disminución de los costos y a la necesidad de la disminución de la mano de obra. El vaciado de material en los moldes, el vibrado como proceso de compactación y el retiro de los moldes. Luego pasa a la etapa III.

La etapa III.

Aquí se contempla el acarreo del producto terminado al área de secado, el proceso de curado del concreto y el almacenamiento y etiquetado del producto para su venta.

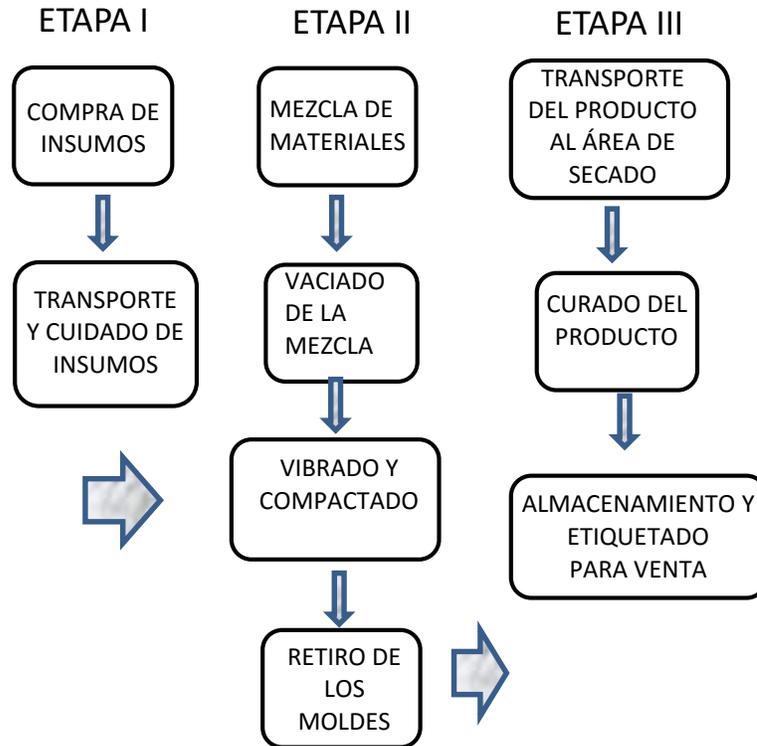


Figura 1.3 La figura es un diagrama de flujo del proceso de producción del tabicón sólido de concreto.

II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET).

II.1 ORIGEN DEL PET

Historia del plástico.

El primer plástico se origina como resultado de un concurso realizado en 1860 en los Estados Unidos, cuando se ofrecieron 10.000 dólares a quien produjera un sustituto del marfil (cuyas reservas se agotaban) para la fabricación de bolas de billar. Ganó el premio John Hyatt, quien inventó un tipo de plástico al que llamó celuloide.

El celuloide se fabricaba disolviendo celulosa, un hidrato de carbono obtenido de las plantas, en una solución de alcanfor y etanol. Con él se empezaron a fabricar distintos objetos como mangos de cuchillo, armazones de lentes y película cinematográfica. Sin el celuloide no hubiera podido iniciarse la industria cinematográfica a fines del siglo XIX. El celuloide puede ser ablandado repetidamente y moldeado de nuevo mediante calor, por lo que recibe el calificativo de termoplástico. En 1907 Leo Baekeland inventó la baquelita, el primer plástico calificado como termofijo o termoestable: plásticos que puede ser fundidos y moldeados mientras están calientes, pero que no pueden ser ablandados por el calor y moldeados de nuevo una vez que han fraguado. La baquelita es aislante y resistente al agua, a los ácidos y al calor moderado. Debido a estas características se extendió rápidamente a numerosos objetos de uso doméstico y componentes eléctricos de uso general.

Los resultados alcanzados por los primeros plásticos incentivó a los químicos y a la industria a buscar otras moléculas sencillas que pudieran enlazarse para crear polímeros. En la década del 30, químicos ingleses descubrieron que el gas etileno polimerizaba bajo la acción del calor y la presión, formando un termoplástico al que llamaron polietileno (PE). Hacia los años 50 aparece el polipropileno (PP). Al reemplazar en el etileno un átomo de hidrógeno por uno de cloruro se produjo el cloruro de polivinilo (PVC), un plástico duro y resistente al fuego, especialmente adecuado para cañerías de todo tipo. Al agregarles diversos aditivos se logra un material más blando, sustitutivo del caucho, comúnmente usado para ropa impermeable, manteles, cortinas y juguetes. Un plástico parecido al PVC es el politetrafluoretileno (PTFE), conocido popularmente como teflón y usado para rodillos y sartenes antiadherentes. Otro de los plásticos desarrollados en los años 30 en Alemania fue el poliestireno (PS), un material muy transparente comúnmente utilizado para vasos, potes y hueveras. El poliestireno expandido (EPS), una espuma blanca y rígida, es usado básicamente para embalaje y aislante térmico. También en los años 30 se crea la primera fibra artificial, el nylon. Su descubridor fue el químico Wallace Carothers, que trabajaba para la empresa Du Pont. Descubrió que dos sustancias químicas como el hexametildiamina y ácido adípico podían formar un polímero que bombeado a través de agujeros y estirados podían formar hilos que podían tejerse. Su primer uso fue la fabricación de paracaídas para las fuerzas armadas estadounidenses durante la Segunda Guerra Mundial, extendiéndose rápidamente a la industria textil en la fabricación de medias y otros tejidos combinados con algodón o lana. Al nylon le siguieron otras fibras sintéticas como por ejemplo el orlón y el acrilán. En la presente década, principalmente en lo que tiene que ver con el envasado en botellas y frascos, se ha desarrollado vertiginosamente el uso del Tereftalato de polietileno (PET), material que viene desplazando al vidrio y al PVC en el mercado de envases. La creciente demanda por parte de los consumidores ha impulsado de manera importante el desarrollo de nuevas tecnologías para el empaque de diversos productos de consumo diario. La industria del empaque y embalaje es una de las más importantes en nuestro país.

El PET es un plástico del grupo de los poliésteres, que se produce a partir de petróleo o de gas natural.

Su utilidad primordial es en la fabricación de botellas, tarros y frascos para envasar bebidas, alimentos, productos cosméticos y farmacéuticos.

Sus características principales son: transparente, irrompible, ligero, maleable de fácil personalización, brillante y 100% reciclable.

Existen dos tipos de PET, uno es el Polietileno Tereftalato que entra en la clasificación de los homopolímeros y son principalmente opacos, el segundo tipo es el polietileno Tereftalato glicol que se encuentra en la categoría de los copolímeros que tienen la característica de ser transparentes.

Ambos tipos de PET pertenecen al subgrupo de los termoplásticos. Los termoplásticos se caracterizan por transformarse de sólido a líquido y viceversa por acción del calor, se disuelven o por lo menos se hinchan al contacto de los solventes.

En 1929 Carothers plantea teóricamente el Tereftalato de Polietileno (PET), posteriormente en 1941 J.R.

Winfield y J.T. Dickson avanzan en las investigaciones, patentándolo como un polímero para fibra.

La producción comercial de fibra de poliéster, comenzó en 1955, a partir de esta década y hasta los años 70's, el PET presenta un continuo desarrollo tecnológico hasta lograr un alto nivel de sofisticación basado en el crecimiento de la demanda del producto a escala mundial y a la diversificación de sus posibilidades de uso:

En 1946 ya se fabrica el PET de tipo textil.

En 1950 se produce el PET grado film.

En los 60's ya se utiliza para empaques, cassetes, y otros productos sólidos.

En los 70's empiezan a utilizarlo para la producción de botellas.

A partir de 1976 es que se utiliza para la fabricación de envases ligeros, transparentes y resistentes, principalmente para bebidas (véase Anexo 1).

El proceso de obtención del envase inicia con la extracción del petróleo para después ser *refinado* agregándole ácido tereftálico y etilenglicol para hacer una resina en polvo, posteriormente se extruye y pelletiza para obtener los granos de PET.

El proceso continua con la obtención de las preformas por medio de inyección donde se funden los granos de PET y por medio de presión es inyectado en los

moldes, finalmente entra a una máquina de soplado que calienta la preforma para que con aire comprimido se estire y adopte la forma de la botella, esta es enfriada y expulsada del molde para ser llenada con algún producto líquido.

Existen tres métodos para reutilizar el PET que ya ha cumplido su tarea como botella, el primero de ellos es el Mecánico cuyo proceso consta primeramente de la recolección, se selecciona el material para ser triturado, después de lavado se vuelve a pelletizar para que sea empleado en la producción de otros productos diferentes al envase como alfombras, flejes, fibras textiles, láminas, etc. El segundo proceso es el Químico que lleva los mismos pasos que el mecánico solo que a diferencia de este último cuando se pelletiza se le agrega más ácido tereftálico y etilenglicol para conseguir material nuevo capaz de ser usado nuevamente en la fabricación de envases para el consumo humano, éste método es el ideal para reducir los desperdicios sólidos pero desafortunadamente sigue siendo muy costoso. El tercer método para reciclar el PET es el de Incineración, como su nombre lo indica, este método consiste en quemar el plástico para aprovechar la energía que produce y convertirla en electricidad o usar el vapor para los sistemas de calefacción, cabe señalar que para realizar este método se requieren instalaciones adecuadas y filtros que impidan la contaminación del aire; a excepción de la inversión inicial, la incineración es económica y puede llegar a reducir los costos por el consumo eléctrico.

Debido a la importancia de este producto y el impacto ecológico es importante comparar las situaciones de estas tres ciudades (Sao Paulo, Buenos Aires y México) con la Unión Europea ya que esta podría ser un posible ejemplo a seguir en cuanto a la legislación y el manejo del desperdicio (post-consumo) de los productos plásticos.

En cuanto a la situación del PET en la Ciudad de México tenemos que decir que se produce 1 millón 392 mil 600 toneladas de plástico, de éstas 828 mil 455 toneladas son de PET y tan solo se recicla el 36.5% de este material que llega a los depósitos de la zona metropolitana, entonces hablamos de un manejo deficiente de los desperdicios.

En México existen diversos reglamentos y normas que tratan de regular el proceso de reciclaje, sin embargo estas leyes están incompletas y por tal motivo no se aplican como debería de ser.

Estas leyes tienen como criterios prevenir y controlar la contaminación del suelo y el tratamiento del material abarcando desde la operación de los sistemas de limpia hasta la generación, manejo y disposición final de los *residuos*.

Existen apoyos fiscales para todo aquel que participe activamente en el proceso de reciclaje eliminando hasta el 50% del impuesto sobre nómina.

Pero lo más importante es que la cultura del ciudadano mexicano no es lo bastante amplia como para darle un buen uso al envase utilizado (FUENTE: Secretaria del medio Ambiente del Distrito Federal).

Sao Paulo consume 3 millones 900 mil toneladas de plástico al año de los cuales un 39.73% es destinado a la producción de embalaje, se ubica en el cuarto lugar mundial de recicladores mecánicos ya que aprovecha el 16.5% de plástico rígido que produce al año post-consumo (200 mil toneladas) además de que posee buena cultura del reciclaje a disminuido el 50 % el peso de sus embalajes además de conseguir fabricar más productos con menos peso, más económicos y más resistentes, provocando así que disminuyeran los niveles de concentración en los depósitos de basura, estando a la altura tecnológica de países como Alemania y Gran Bretaña.

Para 1970 en Buenos Aires el principal material para envasado era el vidrio, para los 80's y 90's el más utilizado es el PET en la industria del envasado ya que tenía la posibilidad de producirlo, pero en la crisis del 2002 se ve obligada a utilizar los envases de vidrio por que la producción es más económica. El vidrio se caracteriza por ser un envase pesado y las consecuencias son que su transportación es más costosa porque mientras más se esfuerce el camión que reparte los productos más combustible gasta. Debido a que es un material rígido es muy fácil de romper por lo que se ve en la necesidad de embalajes. Por esta situación Buenos Aires busca el financiamiento extranjero para volver a producir envases de PET puesto que los costos totales de producción de envases hechos con vidrio se han disparado y ya no pueden solventar dichos gastos extras.

En la Unión Europea (UE) los principales países productores de PET son Alemana, España, Italia, Francia y Gran Bretaña aunque no pertenece a la UE, todos ellos poseen cultura del reciclaje y gracias a la directiva 2004/12/CE tienen la obligación de reciclar el 22.5% de plástico por los tres métodos, mecánico, químico, y el de incineración que es el que utilizan más para la recuperación de energía, también deben de usar del 25 al 45% de material reciclado para la fabricación de envases , esto se logra con una gran innovación llamada envases bicapa, es decir, los envases tienen doble capa de PET, el primero, (que está en contacto con el producto) es de material virgen o nuevo y el segundo revestimiento es de material reciclado, también es su objetivo eliminar paulatinamente materiales metálicos y peligrosos como los adhesivos y dar a conocer a los industriales y a los consumidores las ventajas de reciclar , todo lo anterior está estipulado legalmente, pero los gobiernos pueden presentar iniciativas de reforma sólo para mejorar los anteriores criterios para reciclar.

II.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL PET.

Las propiedades físicas del PET y su capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas han sido las razones por las que el material haya alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y en la producción de una gran diversidad de envases, especialmente en la producción de botellas, bandejas, flejes o zunchos y láminas.

El PET presenta una estructura molecular con regularidad estructural necesaria para tener un potencial de cristalización. Debido a la presencia de los anillos aromáticos en su cadena, el PET presenta una moderada flexibilidad molecular que se refleja en que su temperatura de transición vítrea se encuentra en torno a los 70-80°C. Esto hace que su capacidad para cristalizar sea controlada por las condiciones de enfriamiento. Así, la densidad del PET puede variar desde 1,33-1,34 g/cm³ para un material amorfo hasta aproximadamente 1,45-1,51g/cm³ para el caso semicristalino, éste último particularmente dependiente y proporcional al contenido de dietilenglicol (DEG) que puede generarse durante el proceso de síntesis.

OTRAS CARACTERÍSTICAS DEL PET

- Biorientación: Permite lograr propiedades mecánicas y de barrera con optimización de espesores.
- Cristalización: Permite lograr resistencia térmica para utilizar bandejas termoformadas en hornos a elevadas temperaturas de cocción.
- Esterilización: El PET resiste esterilización química con óxido de etileno y radiación gamma.

Datos técnicos

En la tablas 3 y 4 se exponen las características técnicas del PET. Y Los valores técnicos de la permeabilidad del material.

Tabla 3. Características físicas del PET y contenidos de sustancias químicas

Valor límite de la viscosidad medido en ácido dicloroacético a 25°C	1.07
Punto de fusión °C	aprox. 252/260
Acetaldehído	ppm < 1
Contenido en grupos carboxílicos	mval/kg 20
Densidad aparente [g/cm ³] aprox.	0.85

Tabla 4. Valores de permeabilidad

Oxígeno 23°C, 100% RF	2
Nitrógeno 23°C, 100% RF	9
Permeabilidad al vapor de agua	0.9
Dióxido de carbono	5.1

El parámetro de solubilidad del PET es aproximadamente de $21,8 \text{ MPa}$ lo que lo haría sensible, en mayor o menor grado, a algunos solventes como acetonas, clorados y alcoholes de cuatro u ocho carbonos; pero en el caso de los productos semicristalinos, sólo solventes donadores de protones son capaces de interaccionar con los grupos ésteres en forma efectiva. Aunque es un polímero polar, sus propiedades como aislante eléctrico a temperatura ambiente son buenas a altas frecuencias, debido a que el material, al estar por debajo de T_g , tiene restricciones en la orientación de dipolos.

Si una muestra amorfa es calentada cerca de 80°C se induce la cristalización en frío que genera una considerable distorsión dimensional, contracción y opacidad, por lo que limita la temperatura de servicio. Otro factor a tener en cuenta durante el procesamiento es su carácter higroscópico y que en su estado fundido presenta una alta sensibilidad a la degradación hidrolítica de ahí que sea práctica común en la industria realizar ciclos previos de secado a temperaturas mayores a su T_g (*entre 140-160°C*) por períodos de hasta seis horas antes de cualquier etapa de procesamiento.

Otro factor que limitó en sus inicios el moldeo por inyección fue su inherente baja viscosidad del fundido que es altamente sensible a la temperatura, por lo que las temperaturas de procesamiento se encuentran muy cercanas a su T_m (*entre 270-290°C*), para evitar el goteo en la boquilla. Parte de este inconveniente ha sido

solucionado al diseñar los equipos tal que incorporen sistemas que controlen el flujo libre a través de la boquilla.

Los primeros productos moldeados correspondieron a piezas en las cuales se promovió la cristalización en forma controlada por la adición de agentes nucleantes y/o empleando altas temperaturas de molde cercanas a los $130-140^{\circ}\text{C}$, lo que conduce a una alta rigidez, resistencia al rallado superficial y opacidad, pudiéndose emplear a temperatura entre su T_g y T_m sin problemas de distorsión dimensional. Sin embargo, el interés por este tipo de productos se mantuvo limitado hasta que se reconoció la utilidad del refuerzo con la fibra de vidrio, obteniéndose PET semicristalinos destinados principalmente para aplicaciones eléctricas y electrónicas.

Por otro lado, si se desean productos transparentes obtenidos por inyección, es necesario que la temperatura del molde sea menor a 50°C y no usar grados que contengan agentes nucleantes. Sin embargo, a pesar de las buenas propiedades ópticas y mayor tenacidad respecto al caso semicristalino, pierde resistencia química por lo que ha sido limitado o desplazado el uso de estos productos por otras opciones de procesamiento.

El interés definitivo por el uso de PET surgió al descubrir la utilidad de obtener productos biorientados en combinación con la introducción de la copolimerización con ácido isoftálico o 1,4-ciclohexano-dimetanol. Tal combinación permite obtener productos que presentan mejoras en transparencia, tenacidad y propiedades de barrera, características esenciales de las botellas y algunos laminados y películas de PET destinado a envases y embalajes.

En este caso se propicia un proceso de cristalización por deformación, que genera una morfología cristalina orientada, muy diferente a la obtenida por un simple calentamiento de una muestra amorfa o durante el enfriamiento en el moldeo por inyección. Si bien la cristalinidad puede alcanzar un 40%, la morfología desarrollada permite conservar la transparencia del PET, mientras que son favorecidas tanto la rigidez y tenacidad del sistema, al igual que las propiedades barrearas. Por lo general, estos productos presentan una densidad entre $1,38$ y $1,39 \text{ g/cm}^3$.

II.3 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL PET

El proceso de reciclaje de PET necesita un lavado químico a alta temperatura para retirar las impurezas que quedan tras el lavado en frío. La solución que se utiliza para este proceso tiene un alto contenido en sosa cáustica por lo que el agua residual es altamente contaminante y, obviamente, no se puede verter al alcantarillado. La demanda de agua mensual de agua con sosa, que se utiliza en

este proceso es muy elevada en una planta de producción normal es de aproximadamente *30.000 lt.*

El lavado químico de PET requiere que se deje reposar las escamas de PET en un baño con aditivos químicos a una temperatura de unos *80 °C*. El baño se da en un reactor de *3500 lt* de capacidad que al cabo de unas *48 hr.* debe ser vaciado debido a la acumulación de partículas de suciedad retiradas del PET y a la disminución de la conductividad eléctrica.

Este último parámetro es el que marca cuando el agua ya no es apta para el lavado y, consecuentemente, indica el momento en el que ésta debe sustituirse.

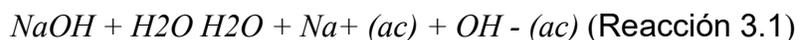
Por otro lado, con tal de no interrumpir el hilo productivo se dispone de un reactor y un acumulador dotados ambos de resistencias eléctricas y debidamente aislados. Mientras en el reactor se da el proceso de lavado en el acumulador se calienta más agua para el siguiente ciclo. Una vez agotado el ciclo del primer reactor el agua sucia se almacena para

Gestión integral de los residuos generados en una planta de reciclaje de ser posteriormente transportada al vertedero y se transfiere el agua previamente calentada en el acumulador al reactor para que siga funcionando.

Como ya se ha comentado anteriormente, la capacidad para limpiar del agua del reactor viene dada por dos parámetros: los sólidos en suspensión y la conductividad. Por lo tanto, parece razonable pensar que si tras el proceso de depuración del agua conseguimos unos valores de estos dos parámetros dentro de los límites establecidos ésta nos servirá para

Posteriores ciclos de limpieza. Para averiguar si estamos en lo cierto necesitamos comprender qué es lo que sucede en el interior del reactor, qué significan los parámetros que debemos controlar y cómo interactúan entre ellos.

Partiendo de agua limpia, si añadimos sosa cáustica (*NaOH*) obtendremos un agua con pH básico y una alta conductividad ya que ésta aumenta al aumentar la cantidad de iones en disolución, que es precisamente lo que estamos haciendo al añadir sosa.



La conductividad también depende de la movilidad de estos iones por lo que al aumentar la temperatura, la viscosidad del agua disminuye aumentando su movilidad y, en consecuencia, la conductividad. Este efecto de la temperatura es diferente para cada ion, pero típicamente para soluciones acuosas diluidas, la conductividad varía de *1 a 4 % por cada °C* [6].

Como ya hemos dicho, en la mayoría de las soluciones acuosas, entre mayor sea la cantidad de iones portadores de carga, mayor será la conductividad, pero este efecto solo continúa hasta que la solución está tan llena de iones que se restringe la libertad de movimiento y la conductividad puede disminuir en lugar de aumentar.

Gestión integral de los residuos generados en una planta de reciclaje de PET.

A medida que vamos haciendo pasar escamas de PET por el reactor, se van liberando partículas que quedarán en suspensión y el agua se va deteriorando. Al mismo tiempo que esto sucede, la conductividad va bajando pudiendo corregirse añadiendo más sosa. No obstante, llega un momento en que, aun añadiendo sosa, la conductividad sigue disminuyendo. Vemos pues que las posibles causas de este fenómeno son tres:

- Exceso de la DQO
- Exceso de la materia en suspensión
- Restricción de movimiento de los iones debido a un exceso de los mismos

Las tecnologías que podrían sernos útiles son las siguientes:

- Evaporación al vacío
- Evaporación por termo-compresión
- Decantación y reutilización

Tecnologías de evaporación

En lo referido a tecnologías de evaporación, existen en el mercado dos claramente diferenciadas: la evaporación al vacío y la evaporación por termo-compresión. Con ambas lo que se busca es separar el solvente (agua) de los componentes contaminantes en suspensión o disueltos en ella.

A continuación, se hará una comparación de ambas tecnologías tomando los datos aportados por dos marcas comerciales de primer orden en este sector: IDROSISTEM [7] para la evaporación al vacío y LOFT [8] para la evaporación por termo-compresión.

Evaporación al vacío (IDROSISTEM R 1000 FF)

Esta tecnología consiste en crear una depresión en la cámara de evaporación con el fin de disminuir la temperatura de ebullición del agua. Por lo tanto, para una presión de 4 o 5 KPa la temperatura de ebullición estará en torno a los 35-40 °C. De esta manera se aumenta la velocidad de evaporación y se reduce la disipación de calor con el exterior.

Esta tecnología necesita pues de calor para evaporar el efluente y frío para condensar la fracción destilada. Esto se hace mediante un circuito secundario por

el que circula un fluido tanto refrigerante como cedente de calor: el hidro-fluorocarburo *R 407C*. Este fluido (en estado gaseoso) comprimido y por tanto calentado cede calor al efluente contaminado iniciando su condensación. Esta condensación es finalizada en un intercambiador de calor ambiental. Tras este punto el líquido pasa a ser el encargado de condensar el vapor procedente del efluente, es decir, pasa a ser líquido refrigerante.

Esta necesidad de liberar calor al ambiente para enfriar el fluido del circuito secundario hace que ésta tecnología sea relativamente ineficiente desde el punto de vista energético. Otra desventaja de este sistema es su grado de complejidad, ya que necesita de 5 motores para su funcionamiento: el de la bomba de vacío, la bomba roto-dinámica de salida de destilado, la bomba de membrana de salida del concentrado, el compresor del circuito secundario y el motor del sistema de auto limpieza de la cámara de evaporación.

II.4 MEZCLAS COMUNES DE PET CON OTROS MATERIALES

Según estudios, *70%* de las casas que se fabrican en México son auto construidas, es decir, construcciones hechas por los propios dueños, ya sea con mano propia o contratando albañiles que realizan la tarea. Sin duda, el factor económico es el de principal incidencia en el dato anterior. ¿Qué tiene que ver esto con el reciclaje de plásticos? En relación a la población del país, el sector que contrata arquitectos es pequeño, aunque poderoso económicamente.

Aquel *70%* corresponde al resto de la masa poblacional que no deja de construir sus casas con base en necesidades de supervivencia y siguiendo los lineamientos tradicionales.

Ahora bien, el constante deterioro ambiental y el agotamiento paulatino de recursos renovables han llevado a investigadores y pequeños empresarios mexicanos a descubrir nuevos materiales de construcción hechos a base de plásticos reciclados. Los mismos tienen dos aspectos importantes que ofrecer: cuidan el planeta reutilizando los residuos plásticos y son más baratos. Pero dichas ventajas no son las únicas: son más livianos, ofrecen mejor conductividad térmica (aislamiento de temperatura) y resistencia mecánica.

Elvira Schwansee [10] realizó una investigación de quiénes reciclan plásticos y los transforman en nuevos materiales para la construcción. Así, ha encontrado cinco productos que pueden sustituir a los tradicionales: un panel de dos metros cuadrados similar al muro de cemento, una cimbra plástica que reemplaza a la de madera, tablas y perfiles para diseño interior, como mesadas y baños, tabiques

huecos pero resistentes que se colocan atravesados por una varilla de hierro, y la lámina para techos hecha a base de polietileno, arena y fibra de agave.

En México hay algunos inventos importantes que aún no llegan al mercado por falta de incentivos competitivos y porque a los esfuerzos individuales les falta un eslabón que los haga formar parte de una cadena productiva. Estos esfuerzos son un ejemplo de creatividad, son ecológicos y podrían ser parte de la solución al problema de vivienda de miles de personas.

Materiales hallados en México: Panel ecológico-Tlaxcala *2.44 m. x 1.22 m.* para muros y losas. Cimbra plástica-Pachuca, la cimbra está hecha 100% de plásticos reciclados sin aditivos, el producto competencia es la cimbra de madera.

Perfiles plásticos-Morelia Tienen cierto grado de flexibilidad, lo que les da el calor, pues poseen un punto de ignición a 330°C . Tabiques y estructuras-Metepec: El tabique es hueco y tiene dos postes de ensamble que sirven para interconectar un tabique con otro.

Lámina-UNAM. Hecha con fibras naturales. Sustituye la lámina de cemento-asbesto por sus mejores características.

Las máquinas HEATHmx procesan cualquier termoplástico reciclado o virgen, al que convierten en un tablero sólido. Según el plástico usado, este tablero puede ser completamente maquinable, logrando cortes, rebajes, perforaciones etc. Con aplicaciones industriales y de uso rudo que resuelvan problemas de intemperie, al sustituir madera, acero, asbesto, fibra de vidrio y otros materiales.

Es un proceso versátil ideado hace más de 25 años, en donde la materia prima, en presentación granular, se funde sin que exista homogenización es decir, de una forma estática. Esta característica de fundición hace a las máquinas HEATHmx versátiles, ya que las materias primas pueden tener cierto porcentaje de impurezas, aprovechando así materiales que por ningún otro proceso son factibles de utilizar. Prácticamente cualquier desecho termoplástico; previamente molido, aglutinado o peletizado; aun teniendo impurezas como tierra, grapas metálicas, etiquetas y astillas de madera. Es factible mezclar diferentes tipos de plásticos, tal como van a los tiraderos, considerando que aproximadamente el 77% de estos son polietilenos y polipropilenos, materiales ideales para la creación de tableros sólidos y maquinables. No requiere lavado previo de los desechos plásticos.

Máquina ideal para recuperar desechos plásticos post consumo urbanos y agrícolas, transformándose en tableros o paneles con un sin fin de aplicaciones. Logrando un reciclado ecológico y verdadero, ya que por su larga vida, estos productos difícilmente terminarían en los vertederos.

El producto de estas máquinas implica dos corrientes ecológicas:

- 1.- Por un lado se ayuda en la preservación del medio ambiente del campo, las ciudades, ríos y mares al evitar que miles de toneladas de desechos plásticos los contaminen.
- 2.- Finalmente, como sustituto de madera industrial, para empaque y embalaje; se evita el uso desmedido e irracional de la madera natural obteniendo un tablero a un precio similar que la misma.

La Empresa KUADRO, que fabrica productos a partir de los tableros plásticos reciclados mediante el proceso HEATHmx, recibió el premio al segundo lugar en el certamen nacional sobre reciclaje promovido por COPARMEX-SEMARNAT en 2009, así como el premio TV AZTECA RECICLA 2009.

Solución a los Desechos Plásticos Urbanos y Agrícolas: Todo tipo de desecho plástico puede ser aprovechado al ser transformado a tableros de madera plástica como sustituto de madera, acero, concreto, etcétera.

III. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLDE ARTESANAL PARA LA ELABORACION DE UN TABICÓN HECHO CON TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET).

III.1 DISEÑO DEL MOLDE

Se pensó en hacer un diseño práctico de molde, que nos pudiera ayudar a elaborar el tabicón con dimensiones de 85 mm ancho por 270 mm de largo por 140 mm de altura. En el cual nos pudiera ayudar a dejar intacto el tabicón que consta de tres tapas, una en la parte de arriba con sujetador de tubular, sus partes laterales lleva 8 pasadores de $2 \frac{1}{4}'' \times \frac{1}{4}''$ solera tubular.

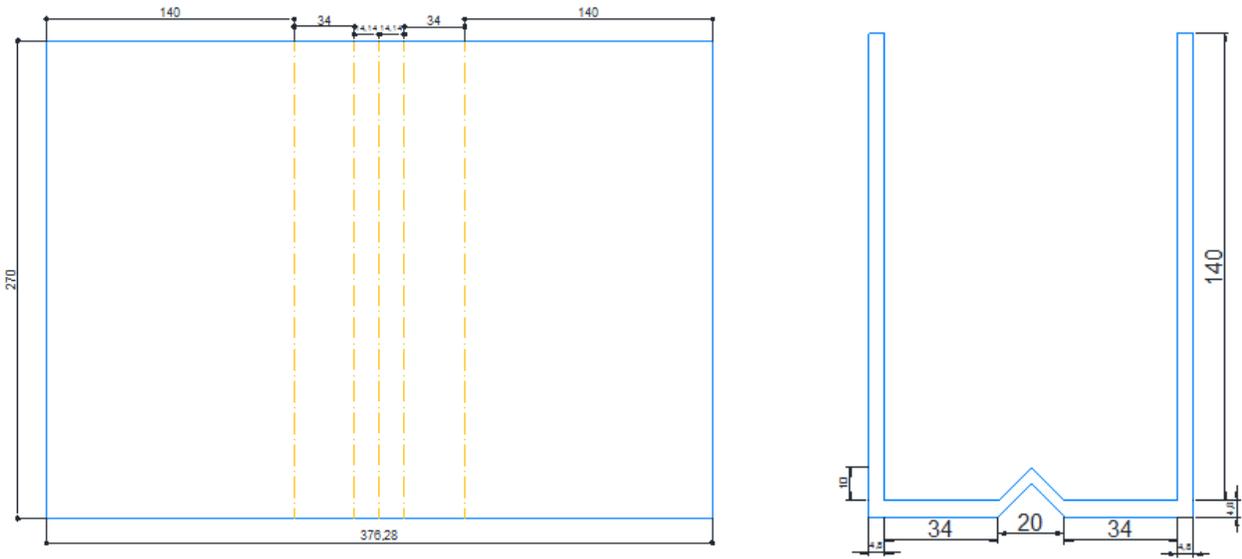
Materiales:

- Lamina de calibre 18 (Puede ser autoparte de vehículos)
- Solera de $1'' \times 1/8''$
- Tubular de $2 \frac{1}{4}'' \times \frac{1}{4}''$
- 1 Kg de Electrodo para soldadura eléctrica $E - 6013$
- Alambre de bronce
- Polvo para soldadura de bronce
- Un marcador o color de madera
- Escuadra de metal o madera
- Bisagras

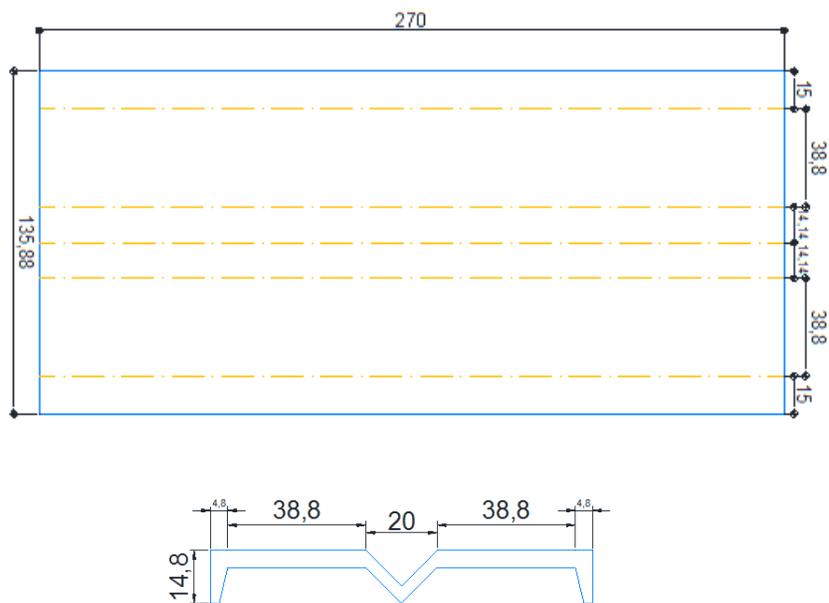
Herramientas:

- Planta de soldar eléctrica
- Soldadura autógena
- Tornillo de banco
- Careta
- Gafas para soldadura autógena
- Tijeras para cortar lamina de acero
- Segueta
- 2 Pinzas de presión tipo hieleras
- Unas pinzas de presión sencillas
- Martillo
- Riel o yunque para martillar
- 2 soleras para presionar lamina de calibre 18''

Se tienen los siguientes croquis:



Croquis 1. Plantilla base de lámina de acero (cotas en mm)



Croquis 2. Plantilla para tapa de lámina de acero (cotas en mm)

Procedimiento para elaborar el molde:

- 1.- Se traza sobre la lámina de acero las dimensiones de la base de la plantilla como de la tapa.
- 2.- Se corta con las tijeras los tramos de lámina de acero.
- 3.- Se coloca el yunque o base para martillar y las dos soleras en dirección paralela en las líneas punteadas sujetadas por las pinzas hieleras donde se realizara el vano triangular, se dan golpes con martillo y cercador para dar el dobles necesario.
- 4.- Se coloca la lámina de acero en el tornillo de banco para dar los dobleces y así obtener la plantilla.
- 5.- Para la elaboración de la tapa se repiten los pasos del 2 al 4 y si obtener la siguiente pieza.
- 6.- Se cortan las soleras para reforzar la plantilla y tapa de nuestro molde.
- 7.- Se soldán la lámina de acero con las soleras con la soldadura autógena y bronce para que tenga mejor resistencia.
- 8.- Se colocan las bisagras en las orillas del molde para hacer dos puertas cuando fragüe nuestro tabicón se pueda liberar fácilmente.
- 9.- Se coloca en la tapa una agarradera de mano con un perfil tubular cilíndrico para poder moverla a como se requiera, para poder realizar el vano la figura de la parte superior del tabicón.

III.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL MOLDE.

Este molde fue realizado a base de lámina de calibre 18 y solera de 1" x 1/8" de hierro dulce como refuerzo, en sus partes tanto horizontales como verticales y manija en su parte superior. Las dimensiones son: 94.6 mm de ancho por 279.6 mm de largo por 144.8 mm de altura. Para recibir tabique ligero con dimensiones de 85 mm ancho por 270 mm de largo por 140 mm de altura. En la parte superior e inferior central tendrá un vano triangular con altura de un centímetro y base de dos centímetros.

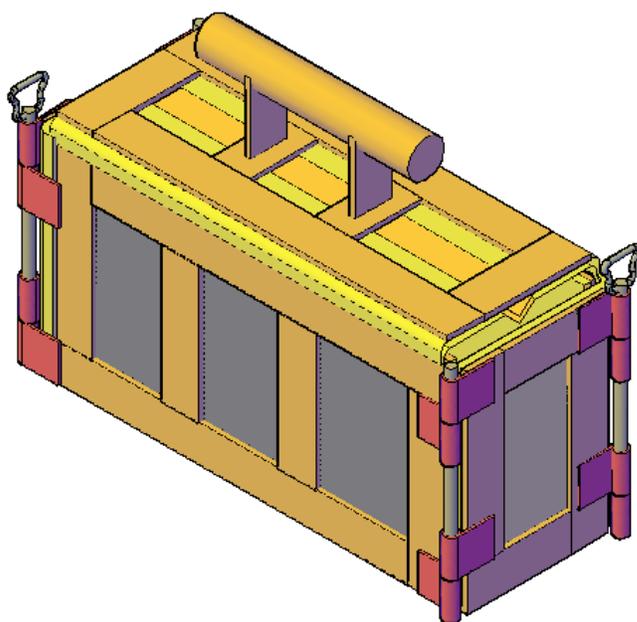


Fig. 3.2 Molde para la elaboración de un tabique

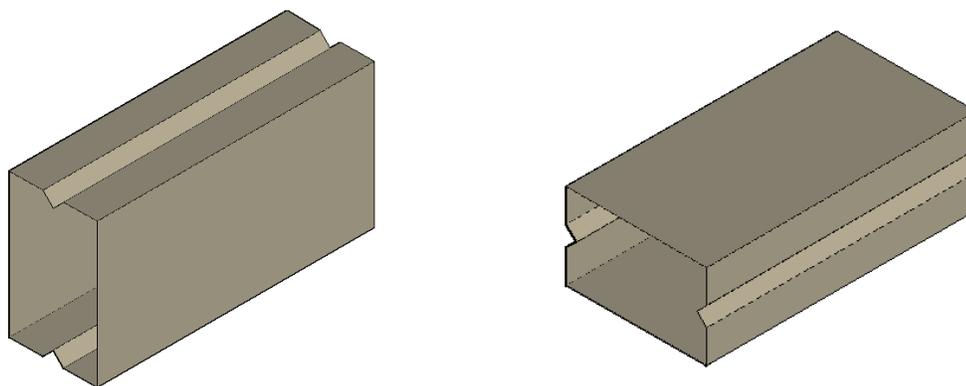


Fig. 3.2.1 Propuesta de tabicón

IV. DISEÑO DE LA MEZCLA ARENA-CEMENTO Y TEREFALATO DE POLIETILENO (PET).

En este Capítulo presentamos el diseño de la mezcla de cemento, arena, Tereftalato de Polietileno y agua, con la que se fabricaron los tabicones, las características físicas y químicas que posee la mezcla con las que se logra un llenado adecuado del molde, donde medimos también los tiempos de secado de los tabicones.

IV.1 DISEÑO DE LA MEZCLA

Para lograr una mezcla con las características adecuadas que permitieron la construcción de un tabicón, se realizaron distintas pruebas en las que se fueron mezclando los ingredientes como son: la arena, el cemento, el PET y el agua. De acuerdo con las proporciones conocidas en la mezcla para un tabicón artesanal elaborado con cemento, arena, granzón y agua procedimos a formar nuestra mezcla en las mismas proporciones, los resultados de la mezcla no fueron tan convincentes; pues el tabicón formado con estas proporción no tenía la homogeneidad y estructura correcta. Se realizaron una serie de pruebas de mezclado, aunque basados en las proporciones conocidas como se mencionó antes, se fueron variando las cantidades de los materiales hasta que se consiguió una mezcla con las características adecuadas que permitieron: en primer lugar el manejo de la mezcla, en segundo lugar observar una homogeneidad en la estructura de la mezcla y tercero un buen vertido de la revoltura en el molde. También, con el propósito de obtener un color más blanco en el tabicón, una mejor adherencia y aumentar el contenido de finos en la mezcla, se añadió una porción de cal hidratada (Figura 4.2), los resultados se percibieron desde el movimiento de la revoltura ya que al aumentar la cantidad de finos en la mezcla se facilitó su combinación, el agua no se separaba de los materiales y el color del mortero era más agradable. Antes de agregar la cal hidratada en la revoltura el aspecto de la mezcla era disgregado y de un color gris pardo y el tabicón elaborado con el mortero era muy poroso. En la Figura 4.1 y se presenta una fotografía de la mezcla sin cal hidratada.

Es un material constituido por los áridos (grava, fina y arena) y por la pasta cemento (cemento y agua), contemplando eventualmente aditivos. La mezcla de los materiales ya nombrados da origen a una masa plástica y trabajable, que permite ser moldeada en la forma que se desee. El cemento y el agua se combinan

químicamente por un proceso denominada hidratación, permitiendo el fraguado y posterior endurecimiento. Los hormigones con el tiempo pueden ir incrementando su resistencia progresivamente, pero las exigencias de resistencias se controlan hasta los 28 días.

Los áridos son el componente inertes y tienen dos funciones, proveer de una masa de partículas aptas para resistir la acción de las cargas y reducir los cambios de volumen resultantes del fraguado y endurecimiento del hormigón.



Figura 4.1 Mezcla de PET, Cemento, Arena y Agua; la mezcla no presenta una homogeneidad se observan algunos grumos y el agua se separa de la revoltura, las pruebas de revenimiento y contenido de humedad no fueron del todo satisfactorias, como se menciona en la Tabla 4.1.



Figura 4.2 La imagen es la de la mezcla PET, Cemento, Arena, Cal y Agua; ahora la revoltura es homogénea se pueden observar algunos grumos sin embargo las pruebas de revenimiento y de contenido de humedad son bastante buenas, se facilita el llenado del molde y al mover la mezcla el agua se queda en ella y no se separa.

La mezcla diseñada de esta manera se clasifica como un hormigón liviano ya que su peso específico es de 1320 kg/m^3 . La pasta elaborada de esta manera es moldeable a temperatura normal, fluida lo que le permite ser vertida en cualquier molde y una vez endurecida adquiere resistencia a esfuerzos de compresión y cortante.

En la siguiente tabla se presenta un resume de la distintas mezclas elaboradas hasta conseguir la pasta correcta con que se elaboraron los tabicones, con base en el peso volumétrico de los materiales.

Tabla 4.1 Mezclas con las proporciones ensayadas.

ENSAYOS	MATERIALES	CANTIDAD	UNIDAD	OBSERVACIONES
MEZCLA 1 (Proporción tradicional de un tabique ligero)	ARENA	5	KG	La mezcla tiene un aspecto no homogéneo, al realizar una prueba de contenido de humedad el grumo se rompe con facilidad, además se aprecia una separación de los ingredientes, el contenido de agua es grande ya que la pasta se extiende, presentando un bajo nivel en la prueba de revenimiento.
	CEMENTO	0.3	KG	
	PET	6	KG	
	AGUA	2.5	LTS	
DISEÑO DE MEZCLA 2	ARENA	5	KG	La mezcla tiene un aspecto homogéneo, al realizar una prueba de contenido de humedad el grumo se rompe con facilidad, además la separación de los ingredientes continua manifestándose, el contenido de agua mejora sustancialmente, la pasta se trabaja mejor, el nivel de la prueba de revenimiento sube.
	CEMENTO	0.6	KG	
	PET	6	KG	
	AGUA	2	LTS	
DISEÑO DE MEZCLA 3	ARENA	5	KG	Para mejorar el aspecto general y adhesión de la mezcla se le agrego una porción de cal hidratada. La mezcla tiene un aspecto homogéneo, al realizar una prueba de contenido de humedad el grumo mejora notablemente se vuelve más cohesivo, la separación de los ingredientes disminuye, el contenido de agua disminuye, la pasta tiene dificultad para ser trabajada, el nivel de la prueba de revenimiento sube.
	CEMENTO	0.6	KG	
	PET	5	KG	
	CAL HIDRATADA	1	KG	
	AGUA	1.5	LTS	
DISEÑO DE MEZCLA 4	ARENA	5	KG	La mezcla es homogénea, su color es gris y su aspecto es el de un hormigón cargado de cemento. La prueba de contenido de humedad; el grumo se comprime muy bien, su recuperación es casi imperceptible, notablemente se vuelve más cohesivo, la separación de los materiales no se presenta. El contenido de agua disminuye, La pasta se trabaja bastante cuando se mueve con la cuchara, el nivel de la prueba de revenimiento sube.
	CEMENTO	1	KG	
	PET	5	KG	
	CAL HIDRATADA	2	KG	
	AGUA	2	LTS	

El PET que trabajamos en la mezcla es una fibra de 2.5 a 3.0 cm de larga por 1.0 cm de ancho, el peso volumétrico es de 950 kg/m³, y es producto de la trituración de botellas de agua y refrescos, el polímero formado de la misma manera es una fibra similar; con las mismas características físicas solo que con dimensiones de milímetros.

El arena que se utilizó para la elaboración de la mezcla es una arena gris producto de mina de la rivera del Río San Jerónimo (Estado de Guerrero, México), su peso volumétrico es de 1250 kg/m³, el contenido de finos es grande lo que permitió un buen llenado de los vacíos en la mezcla.

IV.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA MEZCLA.

El cemento es de la marca Cruz Azul y se compró en sacos de 50 kg, de acuerdo con los requerimientos de cemento: El control de calidad comienza desde la selección de las materias primas de acuerdo a su composición química. Continúa con la dosificación y molienda para asegurar la preparación adecuada de la mezcla para calcinarse, donde se comprueba que se obtengan los compuestos químicos que requiere el cemento.

En los Estados Unidos un saco de cemento Portland pesa 94 libras (42.638 kg) y tiene un volumen de aproximadamente 1 pie cúbico (28.32 lt) cuando acaba de ser empacado. En México el cemento a granel se mide en toneladas métricas y los sacos de cemento tienen un peso de 50 kg. El peso del cemento de albañilería va impreso en el saco. La densidad real del cemento Portland a granel puede variar considerablemente dependiendo de su manejo y almacenamiento. Un cemento Portland demasiado suelto puede pesar únicamente 833 kg/m³, mientras que si se compacta por vibración, el mismo cemento puede llegar a pesar 1,650 kg/m³. Por este motivo, la práctica correcta consiste en pesar el cemento a granel para cada mezcla de concreto que se vaya a producir.

Generalmente el peso específico del cemento Portland es de aproximadamente 3.15. El cemento Portland de escoria de alto horno y los cementos Portland-puzolana pueden tener valores de pesos específicos de aproximadamente 2.90. El peso específico de un cemento, determinado con la norma ASTM C188 no es indicador de la calidad del cemento; su uso principal se tiene en los cálculos de proporcionamiento de mezclas.

De acuerdo con la normatividad de Cementos Cruz Azul el personal se capacita continuamente dentro y fuera del país. Sus Técnicos cuentan con la membrecía ASTM (Sociedad Americana de Estandarización de Materiales y Servicios), y participan activamente en el desarrollo de las normas de calidad de ASTM en los comités C-1 de cemento, C-7 de cal y C-9 de concreto y agregados, a nivel nacional los mismos trabajan conjuntamente con el ONNCCE (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. C.), dentro del CTN-1 Comité Técnico de normalización de materiales, componentes y sistemas estructurales, responsable de las normas de calidad del cemento, concreto y agregados en API (Instituto Americano del Petróleo), también han participado en la revisión de normas así como en las pruebas cooperativas al Oleo Cemento, y participamos activamente en el ICMA (Asociación Internacional de Microscopía en Cemento).

Así mismo las plantas de la Cruz Azul, S.C.L., han obtenido el certificado bajo el esquema de ISO 9002/94, siendo (BVQI) Bureau Veritas International Quality, quien certificó el cumplimiento del Sistema de Aseguramiento de Calidad de La Cruz Azul, S.C.L. a las Normas Internacionales ISO 9000.

La cal deshidratada es de características comunes se consiguió en sacos de 25 kg, producida bajo la normas ASTM del comité C-7 de la Cal. Juntando todas las características de los elementos que forman la mezcla en las proporciones se logró conseguir una pasta homogénea uniforme en donde todos los componentes se integran en buena medida para la conformación de los tabiques.

IV.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA

Como se mencionó en antes, se buscó que la mezcla presentara una homogeneidad en la pasta, color y textura adecuada que permitieran formar un volumen definido dentro del molde y una vez que perdiera toda la humedad adquiriera propiedades de un cuerpo sólido, para ello se identificaron las siguientes características:

IV.2.1.1 FÍSICAS

Dentro de las características físicas la más importante es que la pasta presente un aspecto uniforme, sin la formación de grumos dispersos en la mezcla, ya que esta característica significa que no están bien mezclados los materiales que conforman el mortero. La mezcla de estos conglomerados con arena y amasados con agua da lugar a una pasta plástica o fluida que después fragua y endurece a consecuencia de unos procesos químicos que en ella se producen; son los cementantes los encargados de tales reacciones químicas y que forman parte esencial de la pasta (mortero) la Figura 4.3 muestra un proceso cásico de preparación de un mortero. Este mortero tiene la capacidad de adherirse a superficies más o menos irregulares o formar ladrillos o bloques que una vez puestos en una pared, le da al conjunto cierta compacidad y resistencia a la compresión y esfuerzos cortantes.



Figura 4.3 Forma clásica de revolver un mortero cemento arena y agregado grueso.

Procedimiento de mezclado

- Mezclar en seco la arena con el cemento, hasta tener un aspecto uniforme y luego agregar le Tereftalato de Polietileno (PET).
- Formar una torta achatada, dejando un espacio en el centro para incorporar el agua, que debe ser potable.
- Mezclar en forma circular hasta lograr una masa uniforme y en ningún caso preparar más de $0.5 m^3$.

Las otras propiedades físicas no menos importantes presenta la mezcla son las siguientes:

- Cuando endurece adquiere resistencia al esfuerzo de compresión y cortante.
- Puede adquirir la forma que el constructor decida debido a las características fluidas que adquiere por el contenido de agua.
- Se moldea a temperatura normal de acuerdo con el molde que se requiera.
- Es durable ya que la vida útil de la mezcla es de 20 años en promedio.

IV.2.1.2. QUÍMICAS

Las características químicas que adquiere la mezcla son debidas a las reacciones químicas de los cementantes (cemento y cal hidratada).

Los muros construidos con este tipo de mezclas pueden aceptar que se les adhiera un tipo de acabado con propiedades cementantes (yeso o aplanado con mortero cemento arena).

La pasta cemento debe llenar los huecos entre partículas de áridos, aglomerándolas y al endurecer confiriéndole la característica de impermeabilidad del hormigón y además de proporcionar la resistencia al hormigón ya endurecido.

Precauciones de mezclado mecánico:

- Incorporar el 80% del agua (carente de color y sabor) de amasado, continuando con Tereftalato de Polietileno (PET), el cemento, la arena y dar un mezclado inicial.
- Agregar la diferencia de agua y mezclar por *1.5 min* y entre *10 a 20 r.p.m.*
- Vaciar completamente sin dejar restos que se puedan mezclar con una nueva carga.
- Al terminar de la faena, la betonera deberá ser lavada completamente, eliminando todo residuo.

El conjunto de propiedades físicas y químicas proporciona a la mezcla, las siguientes características importantes en el tabicón, y que construido de esta manera puede ser considerado de autoconstrucción, donde la familia puede participar por ejemplo los niños en la recolección del PET los adultos en el corte del mismo, en la elaboración de la mezcla y el llenado del molde, para que sean los niños nuevamente quienes coloquen los tabicones en un lugar adecuado para que se sequen con el sol.

- Docilidad.
- Resistencia.
- Durabilidad.
- Economía.

IV.3 FORMAS DE LLENADO Y COMPACTADO DEL MOLDE

Como la producción del tabicón sólido de concreto elaborado con PET es meramente artesanal, con el objeto de ser fabricados para satisfacer las necesidades de ampliación o remodelación de una casa habitación popular; se experimentaron distintas técnicas de llenado del molde y compactado de la mezcla.

a) En etapas

Este proceso de llenado consiste en llenarlo por etapas, primero se lleno el tercio inferior del molde y se compactó con ayuda de un pisón de madera, en seguida se llenó el tercio medio del molde y se procedió a compactar el material con el pisón, posteriormente se llenó el tercio superior y se procedió a compactar el material con el pisón finalmente se colocó la tapa superior del molde para dar el acabado final al tabique.



a)



b)

Figura 4.4 Las imagen a) muestra la forma de llenado por capas. La imagen b) es la manera en que se coloca la tapa superior, una vez llenado el molde, para dar el acabado final y el pisón de madera que se utilizó para compactar la mezcla de cemento, arena y PET.

Cuando se retiró el molde del prisma de material se observó que presentaba dos líneas bien definidas de material a lo largo de la longitud del bloque. Esto se debe a que el bloque se formó en estratos o capas de material, inclusive se observa cierta separación entre las capas del sólido. En la figura 4.5 se muestra un tabicón sólido de concreto con los estratos formados en el sólido.



Figura 4.5 La imagen del tabicón sólido de concreto formado con la mezcla de cemento arena y PET, fabricado en capas de material: En ella se puede apreciar la formación de los estratos en el prisma sólido, debido a la formación del fenómeno conocido como “*encarpetamiento*”.

La explicación lógica es que durante la formación de cada capa se compactó el material, utilizando el pisón de madera, lo cual provoca pérdida de humedad por percolación del agua de la mezcla en cada capa, provocando la formación de lo que se conoce en Mecánica de Suelos como fenómeno de “*encarpetamiento*”, es decir, la separación de las capas por el proceso de compactación y la pérdida de humedad.

Este proceso de llenado fue descartado por la formación de las capas, y de acuerdo con la norma **NMX-C-441-ONNCCE-2005** donde se especifica que el bloque sólido de concreto no debe de presentar discontinuidades en el material que conforman al prisma sólido.

b) En un solo tanto

De acuerdo con lo estipulado, en la forma de llenado, del Capítulo II y a la experiencia mencionada antes, se procedió a una forma distinta de llenado, es decir, en un solo tanto.

El molde se fue llenado poco a poco con una cuchara de albañil en tantos, pero en este caso el material, en lugar de compactarlo con el pisón de madera, se distribuyó en todo el molde con la cuchara; introduciendo la punta de la misma en la mezcla vaciada y vibrando el material con golpes leves en la pared del molde con el pisón de madera y levantando y dejando caer el molde levemente en el piso. El molde se llenó un poco más del borde superior y se compacto con el pisón de madera, por último se colocó la tapa superior para dar el acabado final al prisma sólido formado con la mezcla, dando unos golpes pequeños en la misma. En la Figura 4.6 se presentamos una imagen del tabicón sólido de concreto elaborado con la mezcla cemento, arena y PET.



a)



b)

Figura 4.6 Forma de llenado en un solo tanto. a) Es la manera en que se lleno el molde en un solo tanto y como se distribuye la mezcla de cemento, arena y PET, con la cuchara de albañil dentro del molde, la vibración se le dio levantando el molde por una de los vértices superiores y dejándolo caer levemente. La imagen b) muestra el acabado final que le da la tapa superior del molde al prisma sólido formado con la mezcla.

IV.4 DETERMINACIÓN DE LOS TIEMPOS DE SECADO DEL TABICÓN.

El tiempo de secado del prisma se tomó de la norma **NMX-C-441-ONNCCE-2005** donde se establece que el tiempo de secado del tabicón sólido de concreto debe ser de dos a tres días antes de ser transportado a la zona de resguardo para el fraguado de la mezcla.

IV.4.1 FORMAS DE SECADO DEL TABICÓN

Para el caso nuestro, se dejó secar el tabicón sólido de concreto, elaborado con la mezcla diseñada con cemento, arena y PET por cinco días a la sombra, dándole tres riegos directos de agua al día. Posteriormente se colocó el producto en una zona de resguardo, también a la sombra, donde se le proporcionaron tres riegos directos de agua por otros tres, con un aspersor; de acuerdo con la norma **NMX-C-441-ONNCCE-2005**, este proceso contribuye a que el material se fusione de mejor manera permitiendo que los tabicones sólidos de concreto, alcancen una mayor resistencia a la compresión. En la Figura 4.7 se presenta una imagen del producto durante el proceso de fraguado.



Figura 4.7 La imagen es la manera en que se dispusieron los tabicones fabricados para proceder con los riegos durante el proceso de fraguado del concreto elaborado con la mezcla de cemento arena y PET.

Una vez terminado el tiempo de fraguado del tabicón sólido de concreto, establecido por la norma mencionada en el párrafo anterior, se procedió a almacenar el producto en un lugar destinado para el mismo y a la sombra durante 30 días aproximadamente, luego de este tiempo se llevó una muestra del producto al laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, con el fin de realizar las pruebas necesarias señaladas en las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcción del Departamento del Distrito Federal. Y los resultados de las mismas se mencionan en el Capítulo V.

V. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL TABICÓN ELABORADO CON TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)

V.1 ESFUERZO COMPRESIÓN, P.

Para la elaboración de las pruebas al tabicón elaborado con PET, estos deben cumplir con el reglamento de construcciones del Distrito Federal donde se elaborarán pilas y muretes, además de fallar los tabicones por unidad en la maquina universal en este caso en el laboratorio de Mecánica de Materiales en la Facultad de Ingeniería en Ciudad Universitaria.

En la sección de Diseño y construcción de muro de mampostería describe en el inciso 2.1.1. y 2.1.2. Lo siguiente para piezas solas macizas:

2.1.1.1 Piezas macizas

Para fines de aplicación del Capítulo 5 de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo y de estas Normas, se considerarán como piezas macizas aquellas que tienen en su sección transversal más desfavorable un área neta de por lo menos 75 % del área bruta, y cuyas paredes exteriores no tienen espesores menores de 20 cm.

2.1.2 Resistencia a compresión

La resistencia a compresión se determinará para cada tipo de piezas de acuerdo con el ensaye especificado en la norma **NMX-C-036**.

Para diseño, se empleará un valor de la resistencia, f_p^* , medida sobre el área bruta, que se determinará como el que es alcanzado por lo menos por el 98 % de las piezas producidas.

La resistencia de diseño se determinará con base en la información estadística existente sobre el producto o a partir de muestreos de la pieza, ya sea en planta o en obra. Si se opta por el muestreo, se obtendrán al menos tres muestras, cada una de diez piezas, de lotes diferentes de la producción. Las 30 piezas así

obtenidas se ensayarán en laboratorios acreditados por la entidad de acreditación reconocida en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización. La resistencia de diseño se calculará, como:

$$f_p^* = \frac{\bar{f}_p}{1 + 2.5C_p}$$

Donde:

\bar{f}_p Es media de la resistencia a compresión de las piezas, referida al área bruta; y

C_p Es el coeficiente de variación de la resistencia a compresión de las piezas.

El valor de C_p no se tomará menor que 0.20 para piezas provenientes de plantas mecanizadas que evidencien un sistema de control de calidad como el requerido en la norma **NMX-C-404-ONNCCE**, ni que 0.30 para piezas de fabricación mecanizada, pero que no cuenten con un sistema de control de calidad, ni que 0.35 para piezas de producción artesanal.

El sistema de control de calidad se refiere a los diversos procedimientos documentados de la línea de producción de interés, incluyendo los ensayos rutinarios y sus registros.

Para fines de estas Normas, la resistencia mínima a compresión de las piezas de la Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE corresponde a la resistencia f_p^* .

En la sección de Diseño y construcción de muro de mampostería describe en el inciso 2.8.1 lo siguiente:

Resistencia a compresión

La resistencia de diseño a compresión de la mampostería, f_m^* , sobre área bruta, se determinará con alguno de los tres procedimientos indicados en las secciones 2.8.1.1 a 2.8.1.3. El valor de la resistencia en esta Norma está referido a 28 días. Si se considera que el muro recibirá las acciones de diseño antes de este lapso, se deberá evaluar la resistencia para el tiempo estimado según la sección 2.8.1.1.

2.8.1.1 Ensayes de pilas construidas con las piezas y morteros que se emplearán en la obra

Las pilas (fig. 2.2) estarán formadas por lo menos con tres piezas sobrepuestas. La relación altura a espesor de la pila estará comprendida entre dos y cinco; las pilas se ensayarán a la edad de 28 días.

En la elaboración, curado, transporte, almacenamiento, cabeceado y procedimiento de ensaye de los especímenes se seguirá la Norma Mexicana correspondiente.

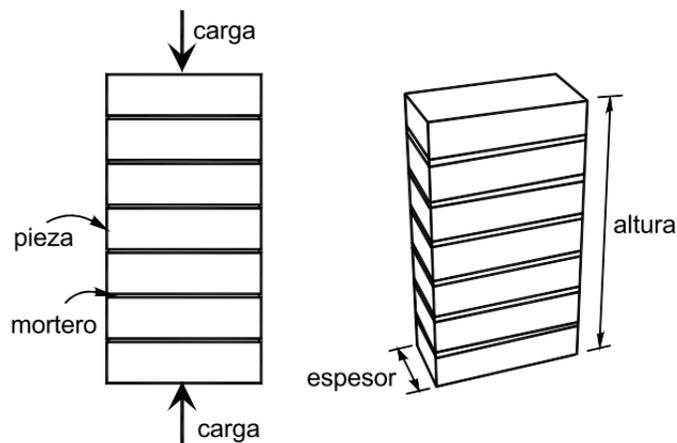


Figura 2.2 Pila para prueba en compresión

La determinación se hará en un mínimo de nueve pilas en total, construidas con piezas provenientes de por lo menos tres lotes diferentes del mismo producto.

El esfuerzo medio obtenido, calculado sobre el área bruta, se corregirá multiplicándolo por los factores de la tabla 2.5.

Tabla 2.5 Factores correctivos para las resistencias de pilas con diferentes relaciones altura a espesor

Relación altura a espesor de la pila ¹	2	3	4	5
Factor correctivo	0.75	0.90	1.00	1.05

¹ Para relaciones altura espesor intermedias se interpolará linealmente.

La resistencia de diseño a compresión se calculará como

$$f_m^* = \frac{\bar{f}_m}{1 + 2.5C_m}$$

\bar{f}_m Es la media de la resistencia a compresión de las pilas, corregida por su relación altura a espesor y referida al área bruta; y

C_m Es el coeficiente de variación de la resistencia a compresión de las pilas de mampostería, que en ningún caso se tomara inferior a 0.15.

2.8.1.2 A partir de la resistencia de diseño de las piezas y el mortero

Las piezas y el mortero deben cumplir con los requisitos de calidad especificados en las secciones 2.1 y 2.5, respectivamente.

a) Para bloques y tabiques de concreto con relación altura a espesor no menor que 0.5, y con $f_p^* \geq 10 \text{ MPa}$ (100 kg/cm²), la resistencia de diseño a compresión podrá ser la que indica la tabla 2.6.

Tabla 2.6 Resistencia de diseño a compresión de la mampostería de piezas de concreto (f_m^* , sobre área bruta)

f_p^* , MPa (kg/cm ²) ¹	f_m^* , MPa (kg/cm ²)		
	Mortero I	Mortero II	Mortero III
10 (100)	5 (50)	4.5 (45)	4 (40)
15 (150)	7.5 (75)	6 (60)	6 (60)
≥ 20 (200)	10 (100)	9 (90)	8 (80)

¹ Para valores intermedios de f_p^* se interpolará linealmente para un mismo tipo de mortero.

Los valores f_m^* de esta tabla son válidos para piezas que cumplen con la resistencia f_p^* señalada en ella y con la sección 2.1, y para mampostería con espesores de junta horizontal comprendidos entre 10 y 12 mm si las piezas son de fabricación mecanizada, o de 15 mm si son de fabricación artesanal. Para otros casos se deberá determinar la resistencia de acuerdo con la sección 2.8.1.1.

Tabla 2.8 Resistencia de diseño a compresión de la mampostería, f_m^* , para algunos tipos de piezas, sobre área bruta

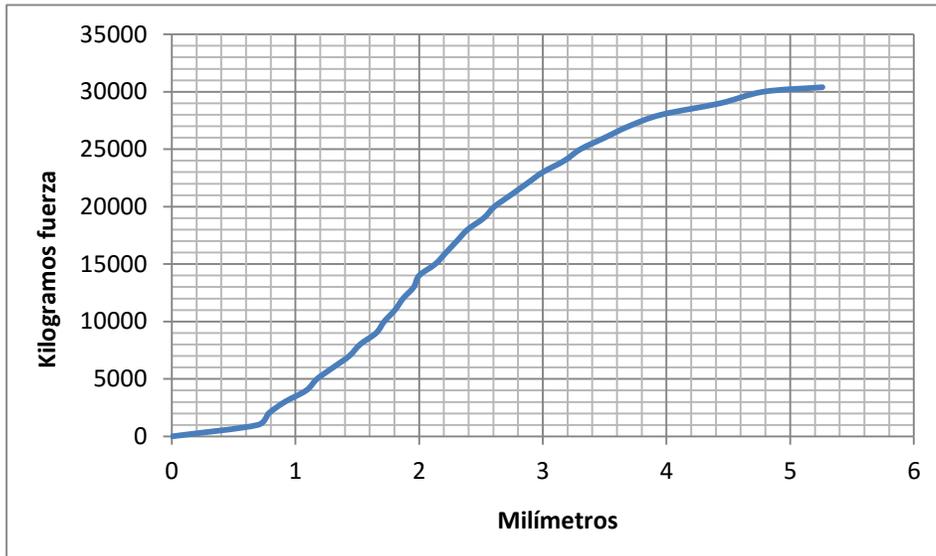
Tipo de pieza	f_m^* , MPa (kg/cm ²)		
	Mortero I	Mortero II	Mortero III
Tabique de barro recocido ($f_p^* \geq 6$ MPa, 60 kg/cm ²)	1.5 (15)	1.5 (15)	1.5 (15)
Tabique de barro con huecos verticales ($f_p^* \geq 12$ MPa, 120 kg/cm ²)	4 (40)	4 (40)	3 (30)
Bloque de concreto (pesado ¹) ($f_p^* \geq 10$ MPa, 100 kg/cm ²)	2 (20)	1.5 (15)	1.5 (15)
Tabique de concreto (tabicón) ($f_p^* \geq 10$ MPa, 100 kg/cm ²)	2 (20)	1.5 (15)	1.5 (15)

¹ Con peso volumétrico neto, en estado seco, no menor que 20 kN/m³ (2 000 kg/m³).

Habiendo ya mencionado en incisos anteriores los lineamientos a cumplir por parte del reglamento de construcciones del DF, con los valores obtenidos de los ensayos para las piezas solas y pilas, se obtuvieron las siguientes cantidades:

Tabla 5.1 Valores resultantes de la prueba a compresión pieza sola 1.

Pieza sola 1			
<i>mm</i>	<i>kgf</i>	<i>N</i>	<i>kgf/cm²</i>
0	0	0	0.00
0.6957	1000	101.9368	2.65
0.7826	2000	203.8736	5.29
0.9130	3000	305.8104	7.94
1.0870	4000	407.7472	10.58
1.1739	5000	509.6840	13.23
1.3043	6000	611.6208	15.87
1.4348	7000	713.5576	18.52
1.5217	8000	815.4944	21.16
1.6522	9000	917.4312	23.81
1.7174	10000	1019.3680	26.46
1.8043	11000	1121.3048	29.10
1.8696	12000	1223.2416	31.75
1.9565	13000	1325.1784	34.39
2.0000	14000	1427.1152	37.04
2.1304	15000	1529.0520	39.68
2.2174	16000	1630.9888	42.33
2.3043	17000	1732.9256	44.97
2.3913	18000	1834.8624	47.62
2.5217	19000	1936.7992	50.26
2.6087	20000	2038.7360	52.91
2.7391	21000	2140.6728	55.56
2.8696	22000	2242.6096	58.20
3.0000	23000	2344.5464	60.85
3.1739	24000	2446.4832	63.49
3.3043	25000	2548.4200	66.14
3.5000	26000	2650.3568	68.78
3.6957	27000	2752.2936	71.43
3.9565	28000	2854.2304	74.07
4.4348	29000	2956.1672	76.72
4.7826	30000	3058.1040	79.37
5.2609	30396.18	3098.4893	80.41

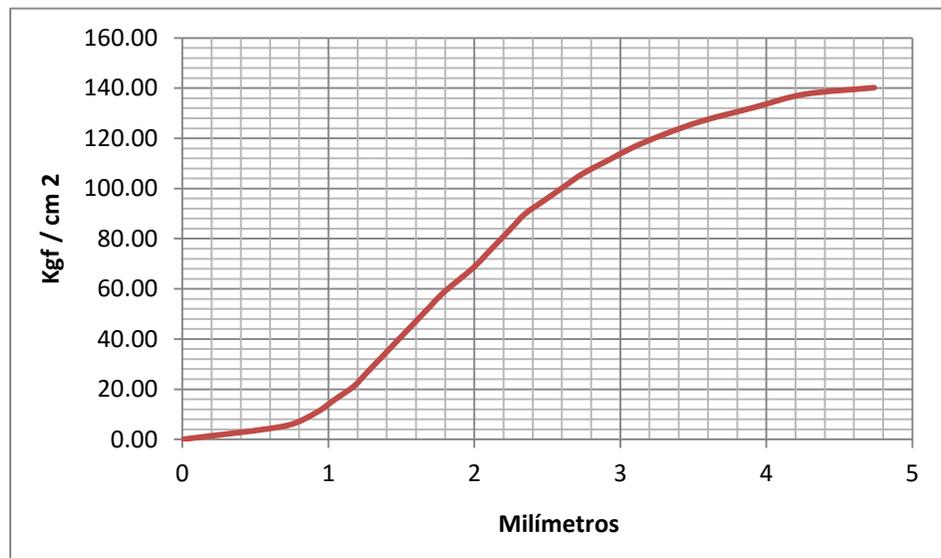
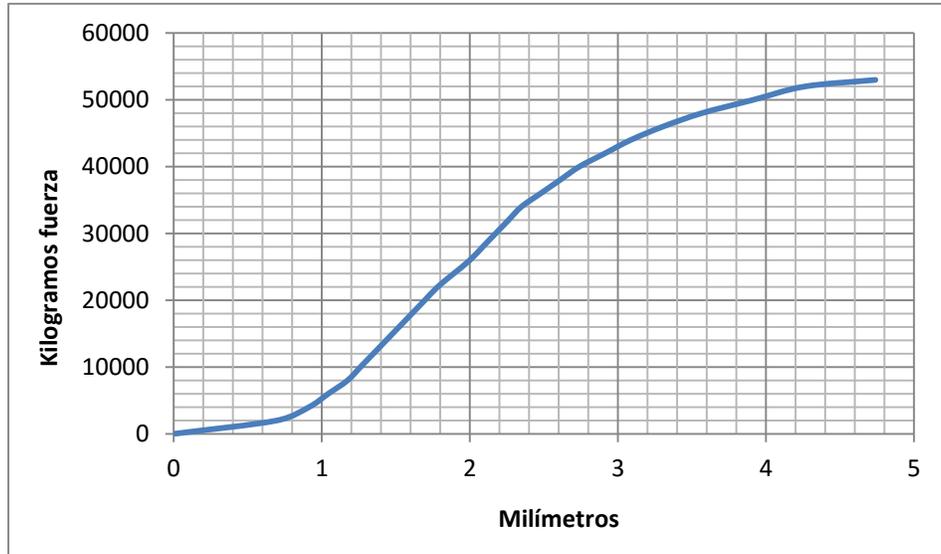


Graficas 5.1 Valores resultantes de la prueba a compresión pieza sola 1.

Tabla 5.2 Valores resultantes de la prueba a compresión pieza sola 2.

Pieza sola 2

<i>mm</i>	<i>kgf</i>	<i>N</i>	<i>kgf/cm²</i>
0	0	0	0.00
0.6957	2000	203.8736	5.29
0.9130	4000	407.7472	10.58
1.0435	6000	611.6208	15.87
1.1739	8000	815.4944	21.16
1.2609	10000	1019.3680	26.46
1.3478	12000	1223.2416	31.75
1.4348	14000	1427.1152	37.04
1.5217	16000	1630.9888	42.33
1.6087	18000	1834.8624	47.62
1.6957	20000	2038.7360	52.91
1.7826	22000	2242.6096	58.20
1.8913	24000	2446.4832	63.49
2.0000	26000	2650.3568	68.78
2.0870	28000	2854.2304	74.07
2.1739	30000	3058.1040	79.37
2.2609	32000	3261.9776	84.66
2.3478	34000	3465.8512	89.95
2.4783	36000	3669.7248	95.24
2.6087	38000	3873.5984	100.53
2.7391	40000	4077.4720	105.82
2.9130	42000	4281.3456	111.11
3.0870	44000	4485.2192	116.40
3.3043	46000	4689.0928	121.69
3.5652	48000	4892.9664	126.98
3.9130	50000	5096.8400	132.28
4.2609	52000	5300.7136	137.57
4.7391	52995.78	5402.2202	140.20

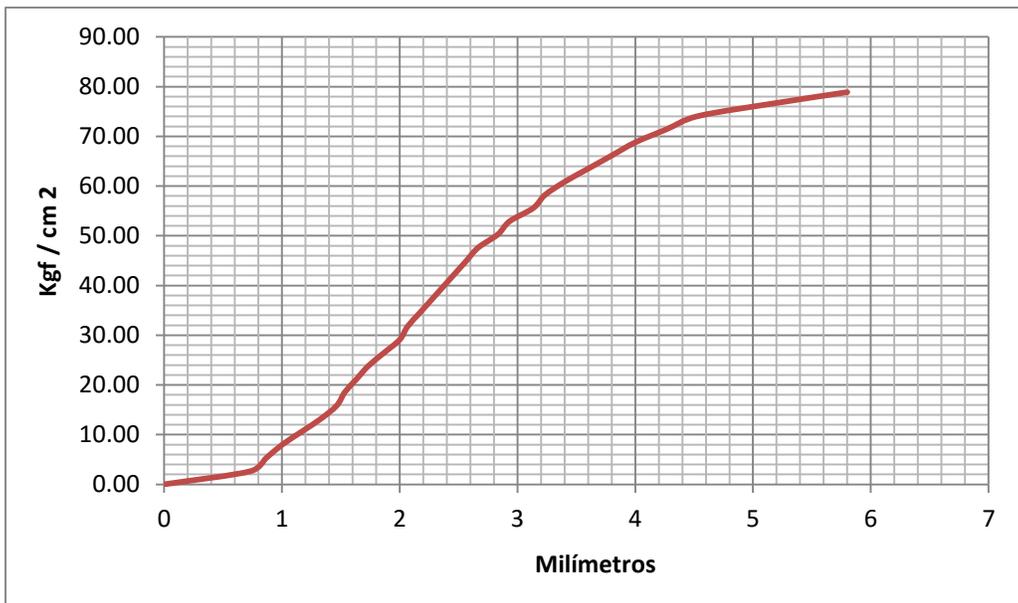
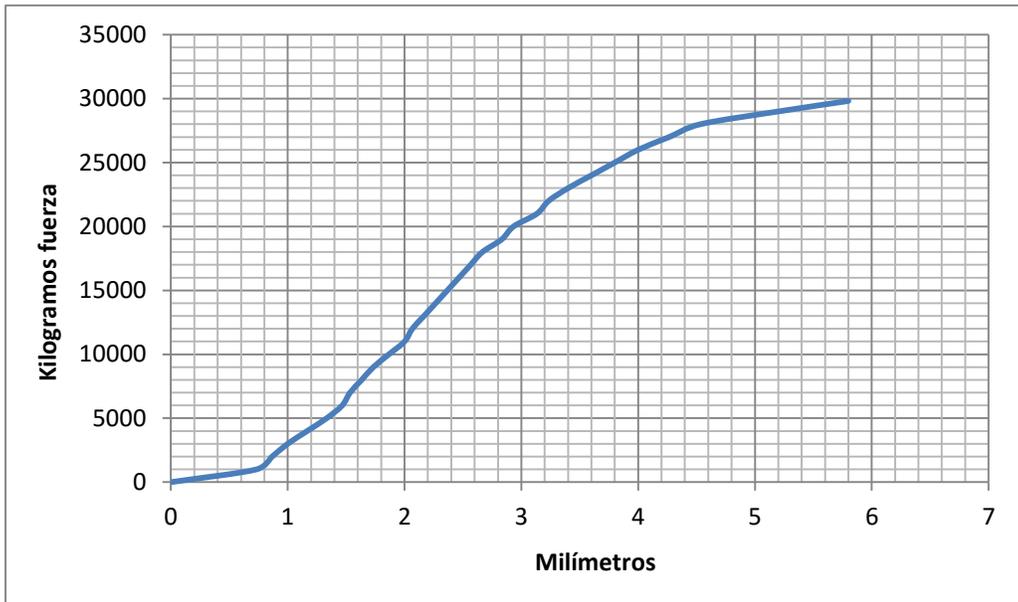


Graficas 5.2 Valores resultantes de la prueba a compresión pieza sola 2.

Tabla 5.3 Valores resultantes de la prueba a compresión pieza sola 3.

Pieza sola 3

<i>mm</i>	<i>kgf</i>	<i>N</i>	<i>kgf/cm²</i>
0	0	0	0.00
0.7333	1000	101.9368	2.65
0.8667	2000	203.8736	5.29
1.0000	3000	305.8104	7.94
1.1667	4000	407.7472	10.58
1.3333	5000	509.6840	13.23
1.4667	6000	611.6208	15.87
1.5333	7000	713.5576	18.52
1.6333	8000	815.4944	21.16
1.7333	9000	917.4312	23.81
1.8667	10000	1019.3680	26.46
2.0000	11000	1121.3048	29.10
2.0667	12000	1223.2416	31.75
2.1667	13000	1325.1784	34.39
2.2667	14000	1427.1152	37.04
2.3667	15000	1529.0520	39.68
2.4667	16000	1630.9888	42.33
2.5667	17000	1732.9256	44.97
2.6667	18000	1834.8624	47.62
2.8333	19000	1936.7992	50.26
2.9333	20000	2038.7360	52.91
3.1333	21000	2140.6728	55.56
3.2333	22000	2242.6096	58.20
3.4000	23000	2344.5464	60.85
3.6000	24000	2446.4832	63.49
3.8000	25000	2548.4200	66.14
4.0000	26000	2650.3568	68.78
4.2667	27000	2752.2936	71.43
4.5333	28000	2854.2304	74.07
5.2000	29000	2956.1672	76.72
5.8000	29818.59	3039.6116	78.89



Graficas 5.3 Valores resultantes de la prueba a compresión pieza sola 3.

La media para la pieza sola maciza, fue la siguiente:

$$\bar{f}_p = 99.83 \left(\frac{kgf}{cm^2} \right)$$

Con las medias obtenidas en las pruebas, sustituyendo en formulas se obtienen los números siguientes:

Pieza sola:

$$f_p^* = \frac{\bar{f}_p}{1 + 2.5C_p} = \frac{99.83}{1 + 2.5(0.35)} = 53.24 \left(\frac{kgf}{cm^2} \right)$$

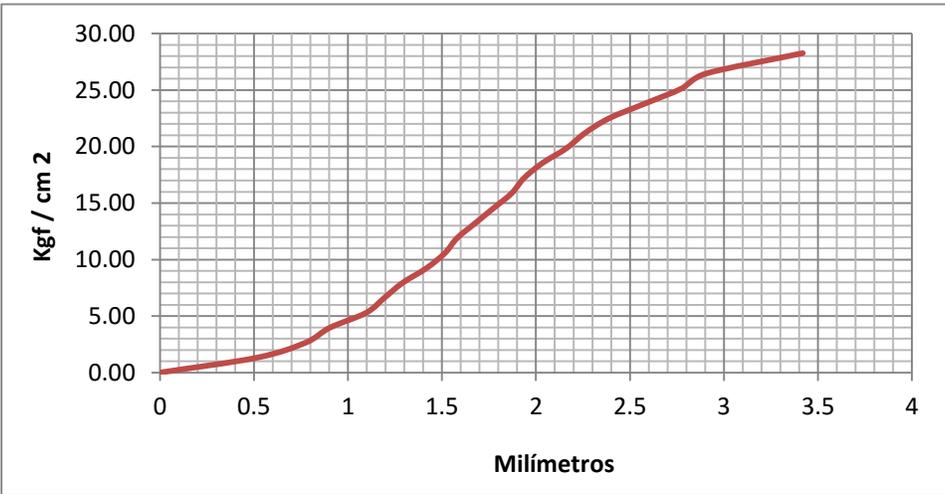
Estos serían los resultados de las pruebas para las pilas:

Tabla 5.4 Valores resultantes de la prueba a compresión pila 1.

Pila 1

<i>mm</i>	<i>kgf</i>	<i>N</i>	<i>kgf/cm²</i>
0	0	0	0.00
0.5161	500	50.9684	1.32
0.7742	1000	101.9368	2.65
0.9032	1500	152.9052	3.97
1.0968	2000	203.8736	5.29
1.1935	2500	254.8420	6.61
1.2903	3000	305.8104	7.94
1.4194	3500	356.7788	9.26
1.5161	4000	407.7472	10.58
1.5806	4500	458.7156	11.90
1.6774	5000	509.6840	13.23
1.7742	5500	560.6524	14.55
1.8710	6000	611.6208	15.87
1.9355	6500	662.5892	17.20
2.0323	7000	713.5576	18.52
2.1613	7500	764.5260	19.84
2.2581	8000	815.4944	21.16

2.3871	8500	866.4628	22.49
2.5806	9000	917.4312	23.81
2.7742	9500	968.3996	25.13
2.9032	10000	1019.3680	26.46
3.4194	10685.82	1089.2783	28.27



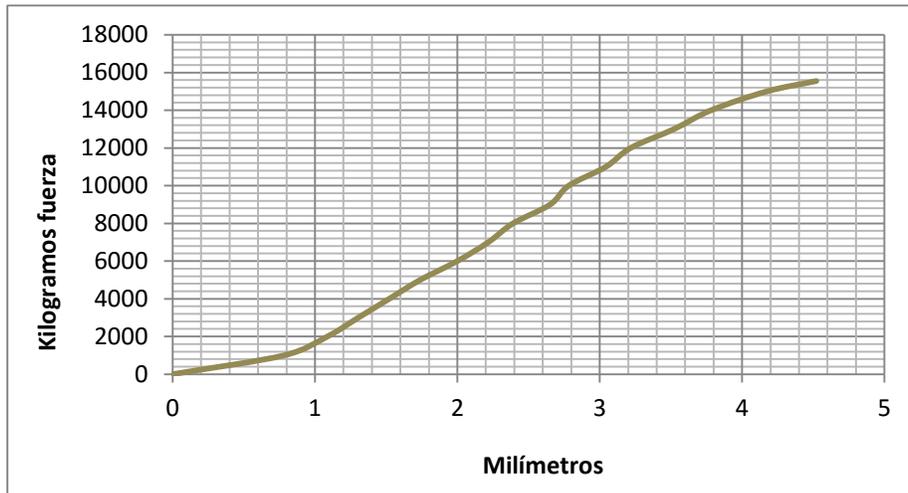
Graficas 5.4 Valores resultantes de la prueba a compresión pila 1.

Tabla 5.5 Valores resultantes de la prueba a compresión pila 2.

Pila 2

<i>mm</i>	<i>kgf</i>	<i>N</i>	<i>kgf/cm²</i>
0	0	0	0.00
0.7826	1000	101.9368	2.65
1.0870	2000	203.8736	5.29
1.3043	3000	305.8104	7.94
1.5217	4000	407.7472	10.58
1.7391	5000	509.6840	13.23
2.0000	6000	611.6208	15.87
2.2174	7000	713.5576	18.52
2.3913	8000	815.4944	21.16
2.6522	9000	917.4312	23.81
2.7826	10000	1019.3680	26.46
3.0435	11000	1121.3048	29.10
3.2174	12000	1223.2416	31.75
3.5217	13000	1325.1784	34.39
3.7826	14000	1427.1152	37.04
4.1739	15000	1529.0520	39.68
4.5217	15549.89	1585.1060	41.14

Graficas 5.5 Valores resultantes de la prueba a compresión pila 2.



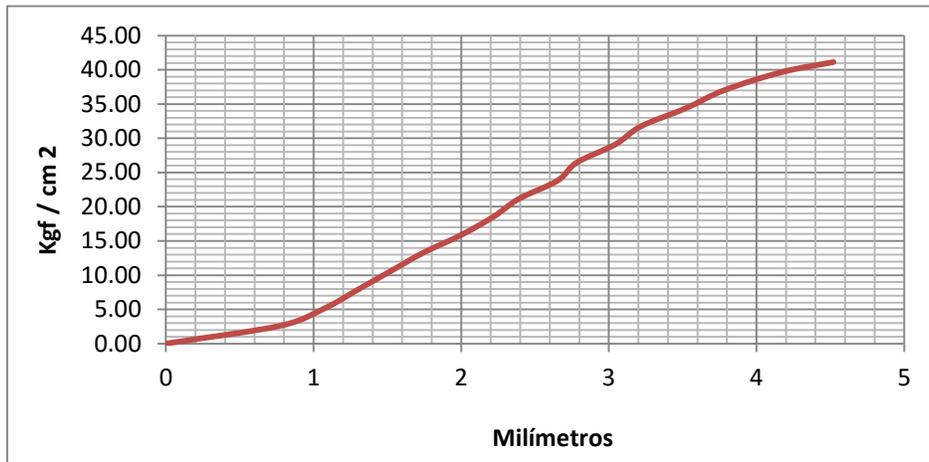
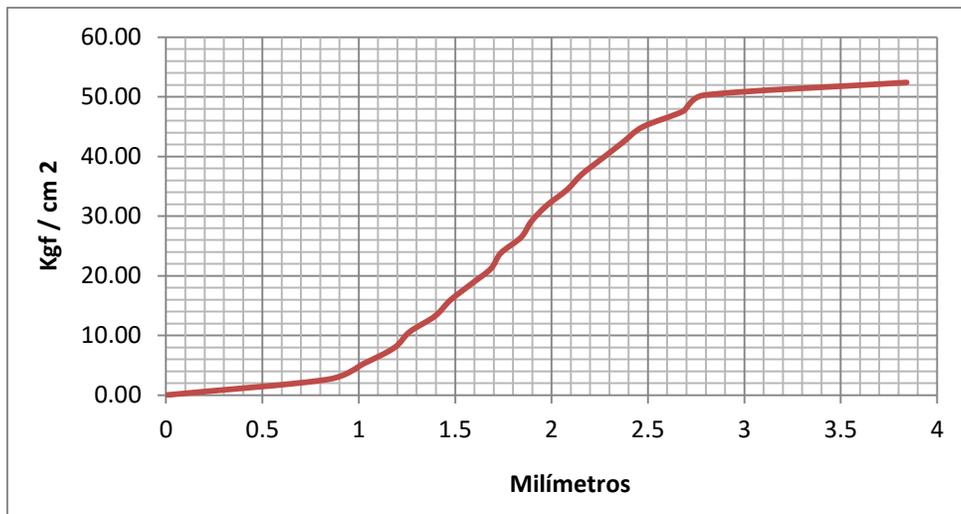


Tabla 5.6 Valores resultantes de la prueba a compresión pila 3.

Pila 3

<i>mm</i>	<i>kgf</i>	<i>N</i>	<i>kgf/cm²</i>
0	0	0	0.00
0.8421	1000	101.9368	2.65
1.0263	2000	203.8736	5.29
1.1842	3000	305.8104	7.94
1.2632	4000	407.7472	10.58
1.3947	5000	509.6840	13.23
1.4737	6000	611.6208	15.87
1.5789	7000	713.5576	18.52
1.6842	8000	815.4944	21.16
1.7368	9000	917.4312	23.81
1.8421	10000	1019.3680	26.46
1.8947	11000	1121.3048	29.10
1.9737	12000	1223.2416	31.75
2.0789	13000	1325.1784	34.39
2.1579	14000	1427.1152	37.04
2.2632	15000	1529.0520	39.68
2.3684	16000	1630.9888	42.33
2.4737	17000	1732.9256	44.97
2.6842	18000	1834.8624	47.62
2.7895	19000	1936.7992	50.26
3.8421	19807.48	2019.1111	52.40



Graficas 5.6 Valores resultantes de la prueba a compresión pila 3.

La media para las pilas, fue la siguiente:

$$\bar{f}_m = 40.60 \left(\frac{kgf}{cm^2} \right)$$

Pila de tabicón:

Según lo previsto en el reglamento de construcciones de D.F. y la breve explicación en el anexo B, en donde la relación ha quedado de 1:3, se toma la tabla 2.5 expuesta en el punto 2.8.1.1, en donde se le aplica un factor correctivo de 0.9 a nuestro resultado, quedando de la siguiente manera:

$$\bar{f}_m = 40.60 (0.90) = 36.54 \left(\frac{kgf}{cm^2} \right)$$

Sustituyendo en la ecuación, se obtiene:

$$f_m^* = \frac{\bar{f}_m}{1 + 2.5C_p} = \frac{36.54}{1 + 2.5(0.15)} = 26.57 \left(\frac{kgf}{cm^2} \right)$$

$$P = 26.57 \left(\frac{kgf}{cm^2} \right)$$

V.2 ESFUERZO TENSIÓN, τ .

2.8.2 Resistencia a compresión diagonal

La resistencia de diseño a compresión diagonal de la mampostería, v_m^* , sobre área bruta de la diagonal, se determinará con alguno de los dos procedimientos indicados en las secciones 2.8.2.1 y 2.8.2.2. El valor de la resistencia en esta Norma está referido a 28 días. Si se considera que el

muro recibirá las acciones de diseño antes de este lapso, se deberá evaluar la resistencia para el tiempo estimado según la sección 2.8.2.1.

2.8.2.1 Ensayes de muretes contruidos con las piezas y morteros que se emplearán en la obra

Los muretes (fig. 2.3) tendrán una longitud de al menos una vez y media la longitud de la pieza y el número de hiladas necesario para que la altura sea aproximadamente igual a la longitud. Los muretes se ensayarán someténdolos a una carga de compresión monótona a lo largo de su diagonal y el esfuerzo cortante medio se determinará dividiendo la carga máxima entre el área bruta del murete medida sobre la misma diagonal.

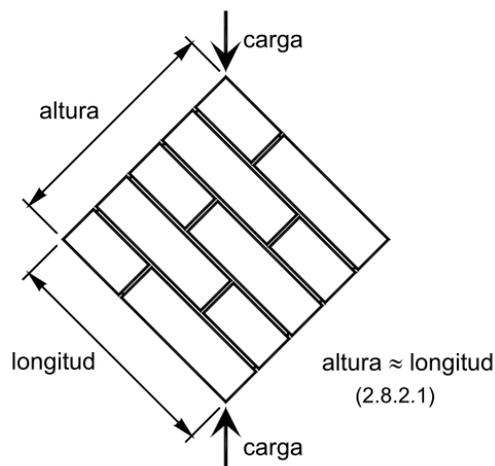


Figura 2.3 Murete para prueba en compresión diagonal

Los muretes se ensayarán a la edad de 28 días. En la elaboración, curado, transporte, almacenamiento, cabeceado y procedimiento de ensaye de los especímenes se seguirá la Norma Mexicana correspondiente.

La determinación se hará sobre un mínimo de nueve muretes contruidos con piezas provenientes de por lo menos tres lotes diferentes.

La resistencia de diseño a compresión diagonal, v_m^* , será igual a

$$V_m^* = \frac{\bar{V}_m}{1 + 2.5C_v}$$

Donde:

\bar{V}_m Es la media de la resistencia a compresión diagonal de muretes, sobre área bruta medida a lo largo de la diagonal paralela a la carga; y

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

Para muros que dispongan de algún sistema de refuerzo cuya contribución a la resistencia se quiera evaluar o que tengan características que no pueden representarse en el tamaño del murete, las pruebas de compresión diagonal antes descritas deberán realizarse en muros de al menos $2.0 m$ de lado.

2.8.2.2 Valores indicativos

Si no se realizan ensayos de muretes, la resistencia de diseño a compresión diagonal será la que indica la tabla 2.9. Las piezas huecas referidas en la tabla deben cumplir con lo dispuesto en la sección 2.1.1, comprendidos entre 10 y $12 mm$. Para otros casos se deberá determinar la resistencia de acuerdo con la sección 2.8.2.1.

Tabla 2.9 Resistencia de diseño a compresión diagonal para algunos tipos de mampostería, sobre área bruta

Pieza	Tipo de mortero	v_m^{*1} , MPa (kg/cm ²)
Tabique de barro recocido ($f_p^* \geq 6$ MPa, 60 kg/cm ²)	I	0.35 (3.5)
	II y III	0.3 (3)
Tabique de barro con huecos verticales ($f_p^* \geq 12$ MPa, 120 kg/cm ²)	I	0.3 (3)
	II y III	0.2 (2)
Bloque de concreto (pesado ²) ($f_p^* \geq 10$ MPa, 100 kg/cm ²)	I	0.35 (3.5)
	II y III	0.25 (2.5)
Tabique de concreto (tabicón) ($f_p^* \geq 10$ MPa, 100 kg/cm ²)	I	0.3 (3)
	II y III	0.2 (2)

¹ 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^* .

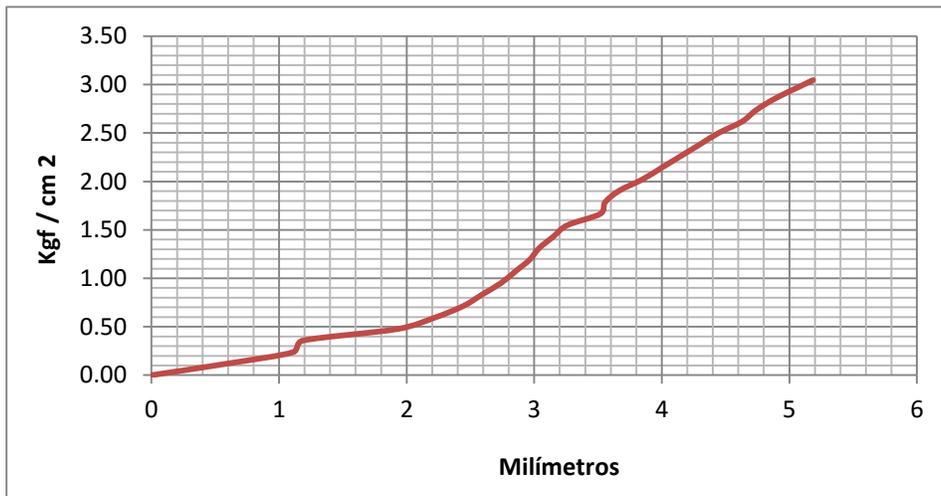
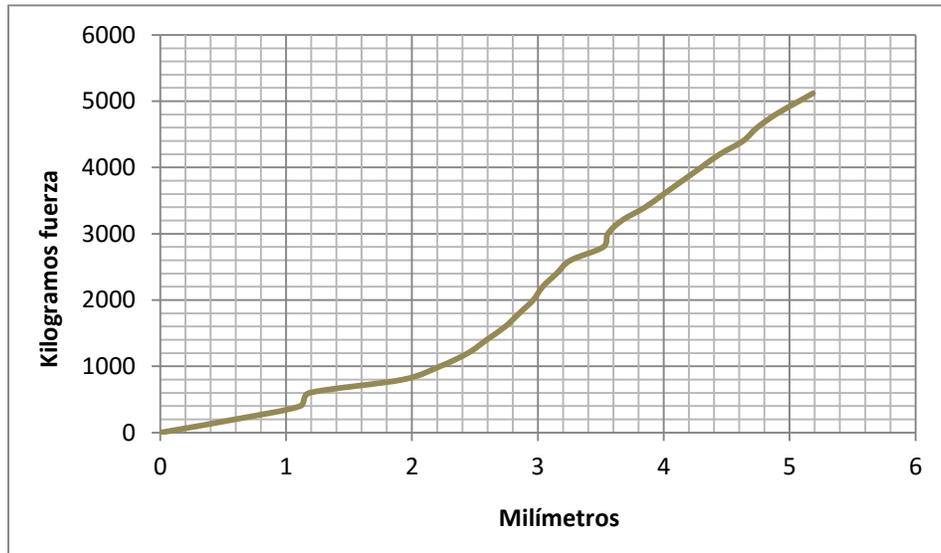
² Con peso volumétrico neto, en estado seco, no menor que 20 kN/m³ (2 000 kg/m³).

Habiendo ya mencionado en incisos anteriores los lineamientos a cumplir por parte del reglamento de construcciones del D.F., con los valores obtenidos de los ensayos para los muretes, se obtuvieron las siguientes cantidades:

Tabla 5.7 Valores resultantes de la prueba murete 1.

Murete 1

<i>mm</i>	<i>kgf</i>	<i>N</i>	<i>kgf/cm²</i>
0	0	0	0.00
0.5926	200	20.3874	0.12
1.1111	400	40.7747	0.24
1.1852	600	61.1621	0.36
1.9259	800	81.5494	0.48
2.2222	1000	101.9368	0.60
2.4444	1200	122.3242	0.71
2.5926	1400	142.7115	0.83
2.7407	1600	163.0989	0.95
2.8519	1800	183.4862	1.07
2.9630	2000	203.8736	1.19
3.0370	2200	224.2610	1.31
3.1481	2400	244.6483	1.43
3.2593	2600	265.0357	1.55
3.5185	2800	285.4230	1.67
3.5556	3000	305.8104	1.79
3.6667	3200	326.1978	1.90
3.8519	3400	346.5851	2.02
4.0000	3600	366.9725	2.14
4.1481	3800	387.3598	2.26
4.2963	4000	407.7472	2.38
4.4444	4200	428.1346	2.50
4.6296	4400	448.5219	2.62
4.7407	4600	468.9093	2.74
4.8889	4800	489.2966	2.86
5.0741	5000	509.6840	2.98
5.1852	5119.41	521.8563	3.05

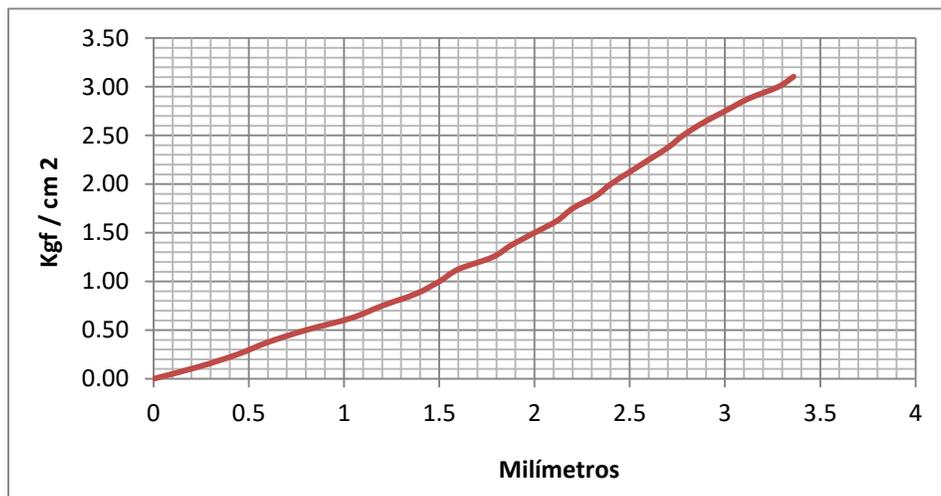


Graficas 5.7 Valores resultantes de la prueba a compresión murete 1.

Tabla 5.8 Valores resultantes de la prueba murete 2.

Murete 2

<i>mm</i>	<i>kgf</i>	<i>N</i>	<i>kgf/cm²</i>
0	0	0	0.00
0.2400	200	20.3874	0.13
0.4400	400	40.7747	0.25
0.6000	600	61.1621	0.38
0.8000	800	81.5494	0.50
1.0400	1000	101.9368	0.63
1.2000	1200	122.3242	0.75
1.3800	1400	142.7115	0.88
1.5000	1600	163.0989	1.00
1.6000	1800	183.4862	1.13
1.7800	2000	203.8736	1.25
1.8800	2200	224.2610	1.38
2.0000	2400	244.6483	1.50
2.1200	2600	265.0357	1.63
2.2000	2800	285.4230	1.75
2.3200	3000	305.8104	1.88
2.4000	3200	326.1978	2.00
2.5000	3400	346.5851	2.13
2.6000	3600	366.9725	2.25
2.7000	3800	387.3598	2.38
2.7800	4000	407.7472	2.50
2.8800	4200	428.1346	2.63
3.0000	4400	448.5219	2.75
3.1200	4600	468.9093	2.88
3.2800	4800	489.2966	3.00
3.3600	4966.07	506.2253	3.10

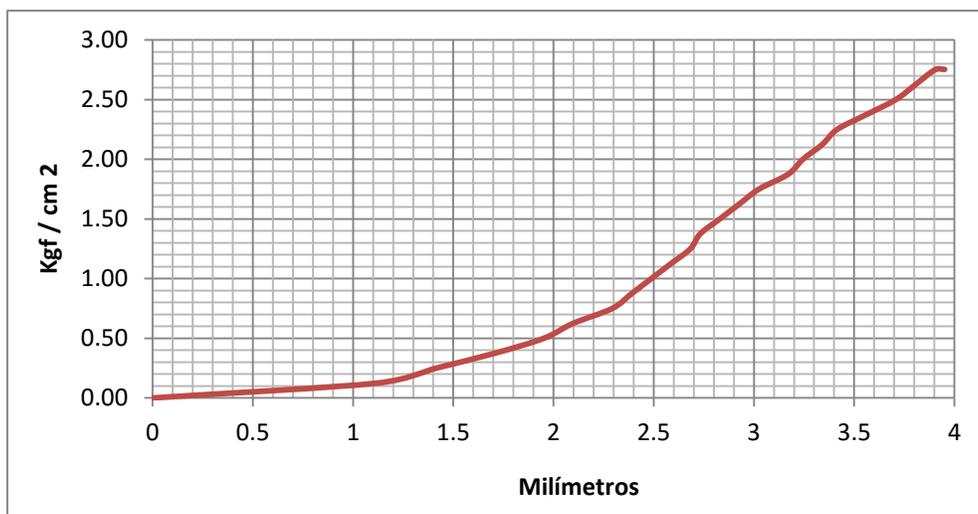
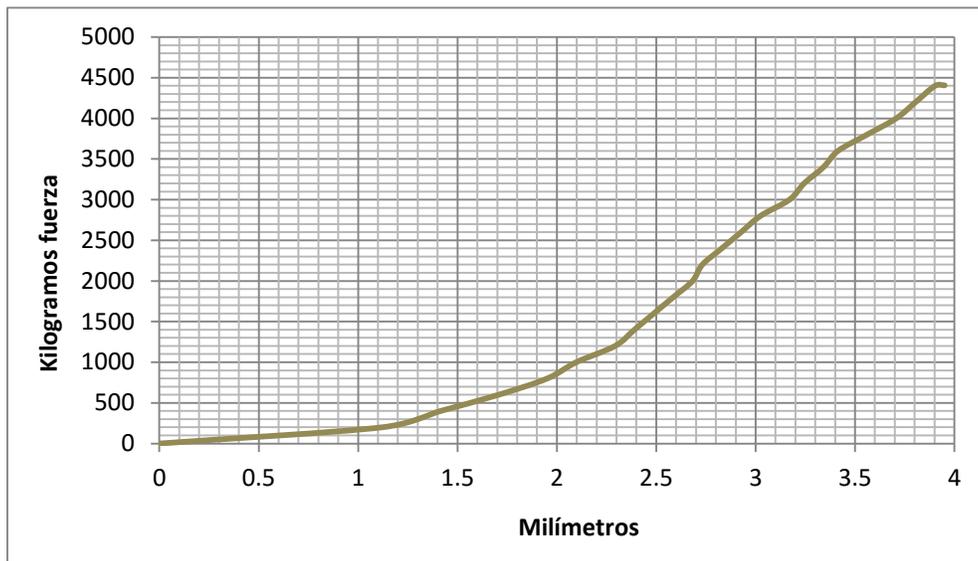


Graficas 5.8 Valores resultantes de la prueba a compresión murete 2.

Tabla 5.9 Valores resultantes de la prueba murete 3.

Murete 3

<i>mm</i>	<i>kgf</i>	<i>N</i>	<i>kgf/cm²</i>
0	0	0	0.00
1.1220	200	20.3874	0.13
1.4146	400	40.7747	0.25
1.7073	600	61.1621	0.38
1.9512	800	81.5494	0.50
2.0976	1000	101.9368	0.63
2.2927	1200	122.3242	0.75
2.3902	1400	142.7115	0.88
2.4878	1600	163.0989	1.00
2.5854	1800	183.4862	1.13
2.6829	2000	203.8736	1.25
2.7317	2200	224.2610	1.38
2.8293	2400	244.6483	1.50
2.9268	2600	265.0357	1.63
3.0244	2800	285.4230	1.75
3.1707	3000	305.8104	1.88
3.2439	3200	326.1978	2.00
3.3415	3400	346.5851	2.13
3.4146	3600	366.9725	2.25
3.5610	3800	387.3598	2.38
3.7073	4000	407.7472	2.50
3.8049	4200	428.1346	2.63
3.9024	4400	448.5219	2.75
3.9512	4405.92	449.1254	2.75



Graficas 5.9 Valores resultantes de la prueba a compresión murete 3.

La media para los muretes, fue la siguiente:

$$\bar{V}_m = 48.30 \left(\frac{kgf}{cm^2} \right)$$

Murete:

$$V_m^* = \frac{\bar{V}_m}{1 + 2.5C_v} = \frac{48.3}{1 + 2.5(0.20)} = 32.20 \left(\frac{kgf}{cm^2} \right)$$

$$\tau = 32.20 \left(\frac{kgf}{cm^2} \right)$$

V.3 ESFUERZO CORTANTE σ

Un esfuerzo de corte es aquel que actúa paralelamente a un plano, para distinguirlo de los esfuerzos tensivos y compresivos que actúan normalmente a un plano. Las cargas que producen las condiciones de corte de interés principal en el ensaye de materiales son las siguientes:

- Las resultantes de fuerzas paralelas, pero opuestas, actúan a través de los centroides de secciones espaciadas a distancias “infinitesimales” entre sí. Es concebible en tales casos que los esfuerzos de corte sobre las secciones sean uniformes y exista un estado de corte directo puro. Es posible acercarse a esta condición, pero nunca alcanzarla prácticamente.
- Las fuerzas opuestas aplicadas son paralelas, actúan normalmente a un eje longitudinal del cuerpo, pero están espaciadas a distancias finitas entre sí. Entonces, además de los esfuerzos cortantes producidos, se establecen esfuerzos flexionantes. En el caso de una viga rectangular sometida a cargas transversales, los esfuerzos cortantes sobre cualquier sección transversal varían en intensidad desde cero en las superficies superiores e inferiores de la viga hasta un máximo en el eje neutro.

-
- Las fuerzas aplicadas son paralelas u opuestas, pero no yacen en un plano que contenga el eje longitudinal del cuerpo; aquí se establece un par que produce una torsión alrededor de un eje longitudinal. Esta acción torcente de una sección de un cuerpo con respecto a una sección contigua es denominada torsión.

Los esfuerzos cortantes de torsión sobre secciones transversales circulares varían desde cero en el eje de torsión hasta un máximo en las fibras extremas. Si no presenta flexión alguna, existe “esfuerzo de corte puro”.

En cualquier punto de un cuerpo esforzado, los esfuerzos corte en cualquiera de dos direcciones mutuamente perpendiculares son iguales en magnitud. Si sobre algún par de planos en el punto, solamente esfuerzos de corte actúan, el material en ese punto se dice que está en “corte puro”. Estos cortes son mayores que aquellos sobre cualquier otro plano a través del punto. La condición de corte puro la cual representa un bloque dado elemental sobre el cual los esfuerzos están uniformemente distribuidos.

Sobre todos los planos inclinados con respecto a los planos de corte máximo, esfuerzos tensivo o compresivos actúan; y sobre planos mutuamente perpendiculares a 45° con los planos de corte máximo, los esfuerzos normales son iguales en magnitud a los máximos esfuerzos de corte. El corte inversamente puro es inducido por esfuerzos normales y opuestos iguales. La compresión secundaria resultante del corte puro primario en placas delgadas pueda causar flambéo de corte. La representación del estado de esfuerzo inducido por el corte puro por medio del círculo de Mohr.

Si un cuerpo es sometido a un esfuerzo tensivo o compresivo que actúe solamente en una dirección, los esfuerzos cortantes a 45° correspondientes tienen la mitad de la magnitud del esfuerzo directo aplicado. En general, los máximos esfuerzos de corte equivalen a la mitad de la diferencia entre los esfuerzos principales máximo y mínimo y actúan sobre planos inclinados a 45° con estos esfuerzos.

La deformación que acompaña al corte puede considerarse que proviene de esfuerzo de las delgadas tiras paralelas de un cuerpo por deslizarse una sobre

otra. La deformación por corte, o “detorsión” es una función del cambio de ángulo entre los lados adyacentes de un bloque elemental al distorsionarse bajo esfuerzos cortantes. El cambio total de ángulo se representa más convenientemente por medio de un diagrama en el cual puede advertirse que la deformación por corte es la tangente de la distorsión angular. Sin embargo, dentro del rango de la resistencia elástica de los materiales usados para la construcción se expresa en radianes.

Por lo que respecta a los problemas prácticos del ensaye, las relaciones entre esfuerzo y deformación por corte son de interés, principalmente en conexión con la carga torsionante. En la teoría común de la torsión, se asume que las secciones planas permanecen así después de la torsión. La sección circular es la única que se ajusta a esta condición, de ahí que la teoría de la torsión no sea satisfactoriamente aplicable a otras secciones que no sean de forma circular. Sin embargo, en los cálculos prácticos para secciones no circulares, los resultados de la teoría de la torsión simple frecuentemente se usan en combinación con factores de corrección adecuados.

La falla bajo el esfuerzo de corte.

Si la resistencia de un material a la tensión es menor que su resistencia al corte, entonces la falla bajo una carga de corte, ocurre por la separación (tensional) a lo largo de un plano que esté a 45° con el plano de corte máximo. Bajo carga torsionante, ésta resulta una fractura con superficie helicoidal. La relación entre la resistencia al corte y la resistencia a la tensión parece variar desde quizá 0.8 para los metales dúctiles hasta valores de aproximadamente 1.1 o 1.3 para los quebradizos como el hierro fundido. La resistencia elástica al corte de los aceros dúctiles y semidúctiles parece estar muy cerca de 0.6 de la resistencia elástica de la tensión.

Objetivo y aplicabilidad de los ensayos de corte

Los tipos de ensayos de corte de uso común son el ensayo de corte directo y el ensayo de torsión. En ciertos casos, las propiedades del corte se evalúan por métodos indirectos.

En el ensayo de corte directo ocasionalmente llamado ensayo de corte transversal usualmente se procede a sujetar flexionantes se minimicen a través del plano a lo largo del cual indicación de la resistencia al esfuerzo que puede esperarse en remaches, pernos de palanca, bloques, bloques de madera, etc.,

Sin embargo, debido a la flexión o la fricción entre las partes de la herramienta o a ambas, da una aproximación de los valores correctos de la resistencia al corte. Los resultados de esa prueba dependen en un grado considerable de la dureza y el fijo de los bordes de las placas endurecidas que descansan sobre la probeta. El ensayo de corte transversal posee la limitación adicional de ser completamente inútil para la determinación de la resistencia elástica o del módulo de rigidez debido a la imposibilidad de medir las deformaciones.

Dados los resultados y cumpliendo con el reglamento de construcciones para mampostería se debe cumplir lo siguiente para la determinación del esfuerzo cortante.

2.8.5 Módulo de elasticidad E_m

El módulo de elasticidad de la mampostería, E_m , se determinará con alguno de los procedimientos indicados en las secciones 2.8.5.1 y 2.8.5.2.

2.8.5.1 Ensayes de pilas construidas con las piezas y morteros que se emplearán en la obra

Se ensayarán pilas del tipo, a la edad y en la cantidad indicados en la sección 2.8.1.1. El módulo de elasticidad para cargas de corta duración se determinará según lo especificado en la Norma Mexicana correspondiente.

Para obtener el módulo de elasticidad para cargas sostenidas se deberán considerar las deformaciones diferidas debidas al flujo plástico de las piezas y el mortero.

Optativamente, el módulo de elasticidad para cargas de corta duración obtenida del ensayo de pilas se podrá dividir entre 2.3 si se trata de piezas de concreto, o entre 1.7 si se trata de piezas de barro o de otro material diferente del concreto.

2.8.5.2 Determinación a partir de la resistencia de diseño a compresión de la mampostería

a) Para mampostería de tabiques y bloques de concreto:

$$E_m = 800f_m^*, \text{ Para cargas de corta duración}$$

$$E_m = 350f_m^*, \text{ Para cargas sostenidas}$$

b) Para mampostería de tabique de barro y otras piezas, excepto las de concreto:

$$E_m = 600f_m^*, \quad \text{ Para cargas de corta duración}$$

$$E_m = 350f_m^*, \quad \text{ Para cargas sostenidas}$$

2.8.6 Módulo de cortante

El módulo de cortante de la mampostería, G_m , se determinará con alguno de los procedimientos indicados en las secciones 2.8.6.1 y 2.8.6.2. Se aplicará la sección 2.8.6.2 si el módulo de elasticidad se determinó según la sección 2.8.5.2.

2.8.6.1 Ensayes de muretes construidos con las piezas y morteros que se emplearán en la obra

Se ensayarán muretes del tipo, a la edad y en la cantidad señalados en la sección 2.8.2.1. El módulo de cortante se determinará según lo especificado en la Norma Mexicana correspondiente.

2.8.6.2 Determinación a partir del módulo de elasticidad de la mampostería

Si se opta por usar la sección 2.8.5.2 para determinar el módulo de elasticidad de la mampostería, el módulo de cortante de la mampostería se puede tomar como:

$$G_m = 0.40E_m$$

Para cargas de corta duración:

$$E_m = 800f_m^* = (800)(26.57) = 21256$$

Este resultado se divide entre 2.3, según el reglamento, se obtiene:

$$E_m = \frac{21256}{2.3} = 9241.74 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$G_m = 0.40(9241.74) = 3696.69 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$\sigma = 3696.69 \frac{kgf}{cm^2}$$

V.4 PRUEBA DE ABSORCIÓN DE HUMEDAD.

El espécimen empleado para el ensaye de absorción fue una pieza. Se medían cuidadosamente las dimensiones de este espécimen, que se colocaba posteriormente en horno a una temperatura de 120 °C hasta que no se observaban variaciones en su peso (después de 24 horas, en general); transcurrido este lapso, se pesaba el espécimen y se sumergía en agua durante 24 horas, después de las cuales se pesaba nuevamente.

El porcentaje de absorción se obtiene como:

$$\% Abs = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100$$

Donde:

W_1 y W_2 son los pesos registrados en estado seco y saturado, respectivamente.

La determinación de estas propiedades se realizó en cinco especímenes; los valores correspondientes al promedio de los resultados de las diferentes etapas aparecen en la tabla 5.10

Tabla 5.10 Pesos de las piezas secas y húmedas W_1 y W_2 .

Tabique	W_1 (N)	W_2 (N)
1	54	61
2	53.5	60.5
3	54.5	62.5
4	53.9	60.9
5	54	61

En este caso, se tiene un peso de $W_1 = 54$ (N) y $W_2 = 61$ (N).

$$\% Abs = \frac{61-54}{54} \times 100 = 12.96 \%$$

VI. COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE UN TABICÓN COMÚN Y UN TABICÓN ELABORADO CON TEREFALATO DE POLIETILENO (PET).

VI.1 ENSAYO DE COMPRESIÓN

Observaciones generales:

Se ha señalado que cuando menos en teoría el ensayo de compresión es meramente lo contrario a el de tensión con respecto a la dirección o el sentido del esfuerzo aplicado. Las razones generales para la elección de uno u otro tipo de ensayo se establecieron. Así mismo, un número de principios generales se desarrolla a través de la sección sobre de ensaye de tensión los cuales con igualmente aplicables al ensaye de compresión. Existen sin embargo, varias limitaciones especiales del ensayo de compresión a los cuales se debe dirigir la tensión:

-
- La dificultad de aplicar una carga verdaderamente concéntrica o axial.
 - El carácter relativamente inestable de este tipo de carga en contraste con la carga que se tiene. Existe siempre una tendencia al establecimiento de esfuerzos flexionantes y a que el efecto de las irregularidades de alineación accidentales dentro de la probeta se acentúa a medida que la carga prosigue.
 - La fricción entre los puentes de la máquina de ensayo o losa placa de apoyo y las superficies de los extremos de la probeta debido a la expansión lateral de esta esto puede alterar considerablemente los resultados que se obtendrían si tal condición de ensayo no estuviera presente.
 - Las áreas seccionales, relativamente mayores de la probeta para ensayo de compresión para obtener un grado apropiado de estabilidad de la pieza. Esto se traduce en la necesidad de una máquina de ensayo de capacidad relativamente grandes o probetas tan pequeñas y por lo tanto, cortas que resulta difícil obtener de ellas mediciones de deformación de precisión adecuada se supone que se desean las características simples del material y no la acción de los miembros estructurales como columnas, de modo que la tensión se limita aquí al bloque de compresión corto.

De acuerdo con las tablas 5.1, 5.2 y 5.3 la fuerza última a la compresión promedio fue de:

$$\bar{f}_p = 99.83 \left(\frac{kgf}{cm^2} \right)$$

Y en la práctica común en muchos laboratorios la resistencia última para tabicón común es de:

$$\bar{f}_p = 110 \text{ a } 115 \left(\frac{kgf}{cm^2} \right)$$

Según la norma NMX – C – 404 – ONNCCE – 2005 la resistencia a la compresión que debe soportar cada tabicón debe ser 100 kg/cm².

Ahora para el caso de las pruebas en pilas de tres piezas la fuerza última a la compresión media fue de:

$$\bar{f}_m = 40.60 \left(\frac{kgf}{cm^2} \right)$$

Según lo previsto en el reglamento de construcciones de D.F. y la breve explicación en el anexo B, en donde la relación ha quedado de 1:3, se toma la tabla 2.5 expuesta en el punto 2.8.1.1, en donde se le aplica un factor correctivo de 0.9 a nuestro resultado , quedando de la siguiente manera:

$$\bar{f}_m = 40.60 (0.90) = 36.54 \left(\frac{kgf}{cm^2} \right)$$

Sustituyendo en la ecuación, se obtiene:

$$f_m^* = 26.57 \left(\frac{kgf}{cm^2} \right)$$

Y de acuerdo con la tabla 2.6

$$f_m^* = 50.0 \left(\frac{kgf}{cm^2} \right)$$

Por lo que el ensayo está por la media de la norma establecida.

VI.2 ESFUERZO TENSIÓN τ

En ingeniería se necesita saber cómo responden los materiales sólidos a fuerzas externas como la tensión, la compresión, la torsión, la flexión o la cizalladura. Los materiales sólidos responden a dichas fuerzas con una deformación elástica (en la que el material vuelve a su tamaño y forma originales cuando se elimina la fuerza externa), una deformación permanente o una fractura. Los efectos de una fuerza externa dependientes del tiempo son la plastodeformación y la fatiga, que se definen más adelante.

La tensión es una fuerza que tira; por ejemplo, la fuerza que actúa sobre un cable que sostiene un peso. Bajo tensión, un material suele estirarse, y recupera su longitud original si la fuerza no supera el límite elástico del material. Bajo tensiones mayores, el material no vuelve completamente a su situación original, y cuando la fuerza es aún mayor, se produce la ruptura del material.

En el caso de piezas de ensayo de forma de paralelepípedo y que no pueden ser sometidas a pruebas de tensión normal, la prueba se realiza mediante una fuerza de corte aplicada a lo largo del ancho medio de la pieza, de su área media.

Los resultados de los ensayos, aunque no se muestran en las tablas, son del doble de los que presentan los blocks elaborados de forma tradicional.

VI.3 ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DIAGONAL

2.8.2.2 Valores indicativos Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE

Si no se realizan ensayos de muretes, la resistencia de diseño a compresión diagonal será la que indica la tabla 2.9. Las piezas huecas referidas en la tabla deben cumplir con lo dispuesto en la sección 2.1.1, comprendidos entre 10 y 12 cm. Para otros casos se deberá determinar la resistencia de acuerdo con la sección 2.8.2.1.

Los muretes se ensayaron a la edad de 28 días. En la elaboración, curado, transporte, almacenamiento, cabeceado y procedimiento de ensaye de los especímenes se siguió la Norma Mexicana correspondiente.

La determinación se hizo en tres muretes construidos con piezas provenientes de por lo menos tres lotes diferentes, tomado como muestra la cantidad de piezas elaboradas en un día.

La resistencia de diseño a compresión diagonal, v_m^* , fue la siguiente:

$$V_m^* = \frac{\bar{V}_m}{1 + 2.5C_v}$$

La media para los muretes, fue la siguiente:

$$\bar{V}_m = 10.38 \left(\frac{kgf}{cm^2} \right)$$

La Resistencia última al esfuerzo de Corte fue de:

$$V_m^* = \frac{\bar{V}_m}{1 + 2.5C_v} = \frac{10.38}{1 + 2.5(0.20)} = 6.92 \left(\frac{kgf}{cm^2} \right)$$

Y lo que la norma nos señala es tabla 2.9, mortero tipo 1:

$$V_m^* = 3.0 \left(\frac{kgf}{cm^2} \right)$$

Qué de acuerdo con los resultados, nos permite afirmar que estamos por arriba de la norma.

VI.4 PRUEBA DE ABSORCIÓN DE HUMEDAD.

En cuanto a las pruebas de absorción de humedad los resultados demostraron que los porcentajes están por debajo de lo expuesto en la **Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE**. Los cuales se indican en la tabla 5.10

El espécimen empleado para el ensaye de absorción fue una pieza. Se medían cuidadosamente las dimensiones de este espécimen, que se colocaba

posteriormente en horno a una temperatura de 120 °C hasta que no se observaban variaciones en su peso (después de 24 horas, en general); transcurrido este lapso, se pesaba el espécimen y se sumergía en agua durante 24 horas, después de las cuales se pesaba nuevamente.

El porcentaje de absorción se obtiene como:

$$\% Abs = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100$$

$$\% Abs = \frac{61 - 54}{54} \times 100 = 12.96 \% < 33.3 \%$$

$$\% Abs_2 = \frac{32 - 24}{24} \times 100 = 33.33 \%$$

VII. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

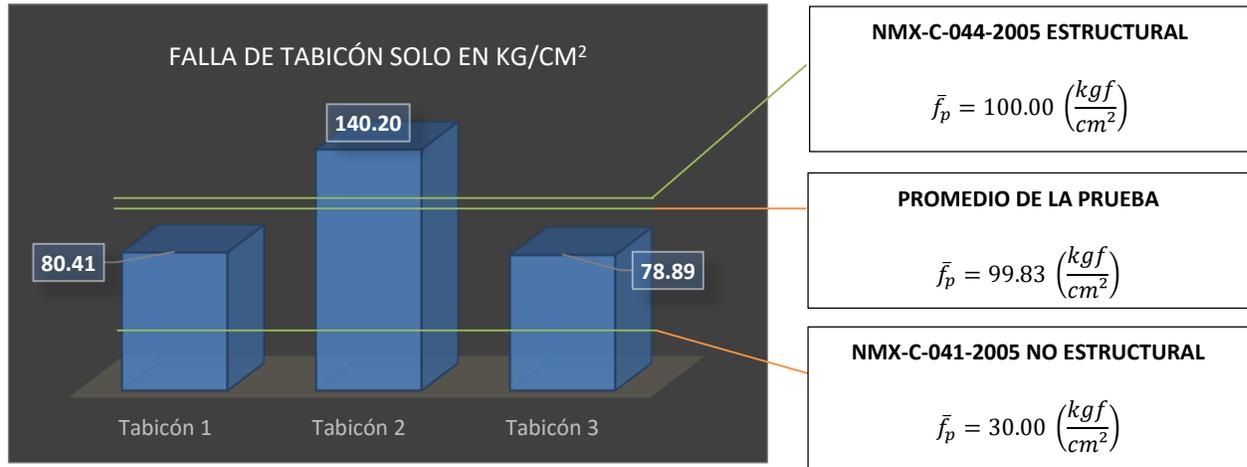
VII.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

1.- Tabicón solo.

Tabla 7.1 Resultados de la prueba de tabicón solo.

Tabicón solo	Pmax (Kg)	t (cm)	Lc (cm)	A (cm ²)	Vm (kg/cm ²)	Tipo de falla
Tabicón 1	30396.18	14	58	378	80.41	Aplastamiento
Tabicón 2	52995.78	14	56.56	378	140.20	Aplastamiento
Tabicón 3	29818.59	14	56.56	378	78.89	Aplastamiento

Grafica 7.1 Resultados y comparación con las normas NMX estructural y No estructural.



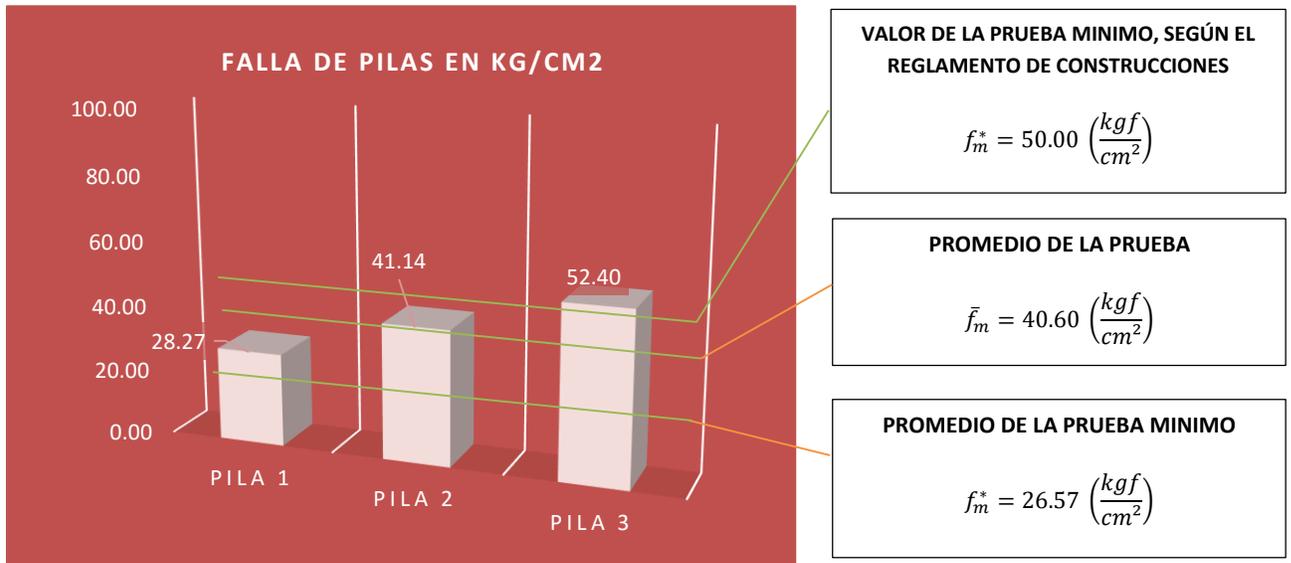
Al comparar los resultados obtenidos, NMX-C-044-2005 estructural y NMX-C-041-2005, se puede decir que estuvo muy cerca de cumplir con el norma estructural pero si cumple para la no estructural.

2.- Pilas.

Tabla 7.2 Resultados de la prueba de Pilas.

Pila	Pmax (Kg)	t (cm)	Lc (cm)	A (cm2)	Vm (kg/cm2)	Tipo de falla
Pila 1	10685.82	14	58	378	28.27	Aplastamiento
Pila 2	15549.89	14	56.56	378	41.14	Aplastamiento
Pila 3	19807.48	14	56.56	378	52.40	Aplastamiento

Grafica 7.2 Resultados y comparación con el RCDF estructural.



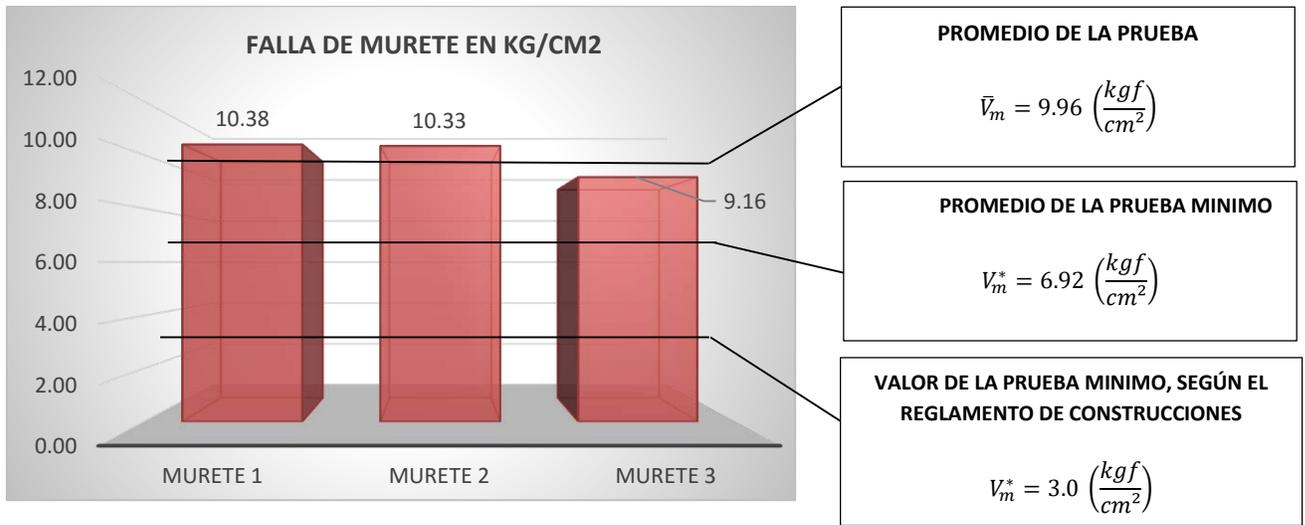
Al comparar los valores de la prueba con el reglamento de construcciones, nos damos cuenta que está, a la mitad del valor esperado para la mampostería estructural, por lo tanto no cumple.

3.- Murete.

Tabla 7.3 Resultados de la prueba de Murete.

Murete	Pmax (Kg)	t (cm)	Lc (cm)	A (cm2)	Vm (kg/cm2)	Tipo de falla
Murete 1	5119.41	14	58	493	10.38	Deslizamiento
Murete 2	4966.07	14	56.56	480.76	10.33	Deslizamiento
Murete 3	4405.92	14	56.56	480.76	9.16	Deslizamiento

Grafica 7.3 Resultados y comparación con el RCDF estructural.



Al comparar los valores obtenidos en la prueba, se puede decir que si cumple, superando el valor mínimo según el reglamento de construcciones de mampostería.

VII.2 VIABILIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN DEL TABICÓN TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET).

Los sistemas constructivos de vivienda de interés social en México han sido muy tradicionalistas, la tecnología utilizada en un gran porcentaje es mínima y la mano de obra es intensa. La gran mayoría de las construcciones es a base de muros de mampostería y losas de concreto. Las cifras del INEGI indican que en México el 80% de las viviendas construidas son de tabicón sólido de concreto, block o tabique de barro recocido.

En términos generales, la falta de industrialización en los procesos de construcción ha generado una calidad insatisfactoria de la vivienda en México. Las principales causas de esta problemática han sido la variabilidad de los procesos constructivos y el bajo control de calidad de los materiales. En países desarrollados las construcciones a base de muros de mampostería en zonas sísmicas se apegan estrictamente a normas establecidas en sus reglamentos de construcción mientras que en países en vías de desarrollo los criterios son más abiertos, permitiendo la práctica local en vez de establecer una estricta práctica. Esto ha favorecido el desarrollo masivo de viviendas de menor calidad obedeciendo más a condiciones socioeconómicas y al relajamiento en la aplicación de las normas y reglamentos.

Uno de los primeros pasos que se pueden implementar en el mejoramiento de la calidad de las viviendas de interés social es la implementación de la auto-fabricación de tabicón sólido de concreto, en la forma en que se detalló en el Capítulo IV, mediante la utilización del Tereftalato de Polietileno PET, como agregado grueso.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el Capítulo V, el tabicón cumple con la normatividad marcada en el Reglamento general de Construcción del D, F. en cuanto a dimensiones, densidad y pesos específico.

Nuestro producto elaborado con el PET además de colocarse de manera tradicional en la elaboración de muros estructurales tiene la capacidad de ser colocado lateralmente, *muro capuchino*, para muros que no forman parte de la estructura, *muros divisorios*, logrando una economía en la construcción, así lo demuestran las pruebas mecánicas a las que fueron sometidos los tabicones.

Se han realizado varios estudios sobre el uso del PET como material para el envasado de productos, mismos que dicen que el uso de este material es del orden de las 800,000 toneladas al año, de las cuales solo se reciclan 300,000 toneladas [6], el resto de este plástico se encuentra depositado en basureros, causes y barrancas del país. Tal vez una de las medidas remediales que se pueden implementar es la producción de materiales como el tabicón sólido de concreto a base de PET para contribuir al reciclaje de este material.

El costo de producción del tabicón sólido de concreto a base de PET es similar al costo que del tabicón producido en masa. Sin embargo se debe

considerar que seguimos explotando los recursos naturales y no tenemos el hábito de reciclar.

La producción del tabicón sólido de concreto a base de PET, de manera artesanal e industrial es factible, aunque los costos son similares para la producción de ambos tabicones se recomienda la utilización del plástico recuperado de los depósitos no regulados, y se puede triturar de manera artesanal o llevarlo a alguna empresa trituradora para que sea procesado al tamaño requerido.

El simple tabicón sólido de concreto continua evolucionando a la par de los arquitectos y las plantas manufactureras de bloque y tabicones de este tipo, desarrollando nuevas formas y tamaños, estos nuevos bloques prometen hacer construcciones en menos tiempo y más económicas, resultando en estructuras que serán más durables, eficientes y con la sustentabilidad posible en la utilización de recursos naturales y energías alternativas. Algunos de los adelantos en el diseño de bloques para el futuro incluye el bloque axial, el cual cuenta con ductos horizontales y verticales para permitir el paso de conductos eléctricos y de plomería, y otro que consiste en tres secciones que forman paredes interiores y exteriores, y otro será el bloque térmico el cual almacenará calor para mantener fresco el interior de las habitaciones durante el verano y cálido en el invierno. Estos diseños han sido introducidos en casas prototipo.

VII.3 RECOMENDACIONES.

Para elaborar los tabicones en serie, se podría utilizar una maquina vibradora bloquera puesto que la elaboración de los tabicones de manera artesanal se lleva en tiempo de su elaboración 20 tabiques en una hora, con una cuadrilla de personas.

Mojar los tabiques antes de elaborar algún tipo de construcción como muros de mampostería o muros divisorios, se puede completar con algún tipo de resina que nos serviría como adhesivo ya que el PET con el cemento no son tan compatibles, sin embargo esto elevaría costos de fabricación del mismo.

El diseño propuesto en el molde de vaciar la mezcla en la parte de mayor altura no se considera muy conveniente pues el vano triangular que debe quedar pues no fue el esperado, un molde que se pueda vaciar en su parte horizontal con la forma geométrica del tabicón, podría salir un mejor resultado.

VII.4 CONCLUSIONES.

Se pudo diseñar y fabricar de manera artesanal un “*tabicón*”, elaborado con una mezcla de cemento, arena y PET como agregado grueso. Se pudo utilizar un tamaño triturado de Tereftalato de Polietileno (PET), muy común de un tamaño de 2.5 a 3 cm.

Las pruebas realizadas con las muestras elaboradas en el laboratorio de mecánica de materiales, el “*tabicón*” estuvieron muy cerca de cumplir con la resistencia a compresión, NMX-C-044-2005 estructural pues el valor es de 99.83 kg/cm² pero al compararlo con NMX-C-041-2005 no estructural, si cumple ya que supera el valor de 30 kg/cm² como lo indica esta última.

El valor obtenido en la pruebas de la falla de las pilas, este valor ultimo mínimo fue de 26.57 kg/cm², que se encuentra a la mitad del valor esperado que nos indica el reglamento de construcciones con un valor de 50 kg/cm².

Con respecto a la falla del murete, los resultados obtenidos en la prueba supera el valor mínimo con un valor de 6.92 kg/cm² y el reglamento de construcciones nos indica un valor de 3.0 kg/cm².

Se puede concluir que este *tabicón* con un 33% de PET en volumen, cumplió con el 50% con respecto a la norma mexicana y con el reglamento de construcciones para mampostería estructural, se puede tener un uso de mampostería no estructural.

ANEXO A. Elaboración de las muestras para la falla de tabicón solo.

Ya pasados los 28 días de la fabricación del tabicón solo, como nos pide el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal para la elaboración de la falla, se debe realizar el cabeceo, en el que consiste rellenar las oquedades o porosidad, que se haya presentado durante la fabricación del tabicón en el cual se debe preparar yeso en una charola y colocarlo sobre un molde con ayuda de un nivel que nos permita emboquillar para tener una superficie más uniforme.

Material:

- Una canaleta en “U” de 2” x 1/8” de metal de un metro de largo.
- 10 kg de cemento de alta resistencia hydrocement Mca. USG.
- Clavos de ¼” x 1/16”
- Un pedazo de triplay
- Alambre recocido
- Pedazos de cartón
- Agua

Herramientas:

- Tornillo de banco
- Escuadra
- Dos niveles uno largo y otro corto
- Un taladro con cabezal de ½” y llave
- Broca de 1/8”
- Segueta
- Cuñas de acero para aplicación
- Lima bastarda
- Pinzas mecánicas
- Probeta de polipropileno de 1000 ml
- Charola de 450 ml para sacar porciones
- Charola para mezcla de cemento

Desarrollo:

1.- Se mide el perímetro del tabicón, para hacer los cortes con la segaeta apoyándose con el tornillo de banco necesarios a la canaleta "U".



2.- Ya cortados se hacen los dobleces correspondientes quedando a escuadra, para la entrada del tabicón.



3.- Por último, se hacen con el taladro y broca los hoyos correspondientes en las esquinas de nuestro molde para hacer sujeción con alambre recocido.



4.- Se preparan los materiales como las herramientas a utilizar para la preparación del cabeceo del tabicón.



5.- Se nivela la mesa de trabajo ya que será un factor importante, nos dirá que cantidad hay que aplicar de cemento para el cabeceo a nuestro tabicón solo como primeras muestras, se coloca posteriormente el molde para el cabeceo tratando de que la distancia sea de 0.5 cm, de la parte baja del tabicón hasta alcanzar la parte más alta del perfil del molde.





6.- Ya que tenemos nivelado el tabicón se procede a preparar la mezcla, se toma la probeta de polipropileno de 1000 ml y se mide 150 ml de agua, este caso vamos a tomar una charola de 450 ml para llenarla de cemento hydrocemento, aproximadamente es la relación 1:2.



7.- Se hace la mezcla con las cuñas de acero aproximadamente de dos a tres minutos, tratando de que sea lo más rápidamente ya que es de secado rápido, el batido se realiza de manera que se quiten todos los grumos o bolitas secas de cemento, hasta dejarlo uniformemente.



8.- Se coloca una porción de la mezcla en el tabicón a cabecear, aplicando con las cuñas de acero hasta alcanzar el límite máximo superior de nuestro molde.



9.- Por último se hace un enrase en todo el límite superior, hasta quedarnos una superficie lisa.



10.- Se deja secar una hora y se descimbra. Se realizan nuevamente los pasos del 4 al 9 para la cara posterior y se obtiene el cabeceo de la pieza completa.



ANEXO B. Elaboración de las muestras para la falla de Pilas de tabicón.

En este caso, se debe realizar pilas de tabicón para lo cual necesitaremos de lo siguiente:

Material:

- Trozos de triplay para bases para muretes y pilas.
- Pala
- Tabiques
- 1 costal de arena
- 1 bulto de mortero
- Agua

Herramientas:

- Plomo
- Escuadra
- Malla para afinar arena
- Cubeta de agua
- Cuchara para mortero
- Charola para mezcla de mortero

Desarrollo de las pilas de tabicón.

1.- Se afina la arena con la malla # 400 para la elaboración del mortero.



2.- Se preparan los materiales para la elaboración del mortero relación 1:3.



3.- Se nivelan las bases de triplay para la elaboración de las pilas que nos indica en el punto 2.8.1.1 del RCDF, "Las pilas (fig. 2.2) estarán formadas por lo menos con tres piezas sobrepuestas. La relación altura a espesor de la pila estará comprendida entre dos y cinco; las pilas se ensayarán a la edad de 28 días."



4.- Para cumplir con el punto 2.8.1.1, se resuelve lo siguiente:

Se obtiene un espesor de 135 mm por tabique y se colocan 4 tabiques con una altura de 85 mm y junta de 15 mm para obtener una altura total de 400 mm, por lo que la relación ha quedado 1:3.



5.- Así nos queda la siguiente tabla:

Pila	Espesor (mm)	Altura (mm)	Relación
1	135	400	1 : 3
2	135	400	1 : 3
3	135	400	1 : 3

Elaboración del cabeceo de las pilas de tabicón.

1.- Para elaborar el cabeceo de las pilas de tabicón, se repiten los pasos antes vistos en el anexo A para tabicón solo, con la diferencia que se debe nivelar las pilas con respecto al suelo.



ANEXO C. Elaboración de las muestras para la falla de muretes de tabicón.

Para realizar la falla de Muretes de tabicón, los materiales y herramientas, que utilizamos en el anexo B para la realización de las pilas. Como también se realizan las preparaciones de arena como la relación de mortero como en el pasado anexo.

Desarrollo de los muretes de tabicón.

- 1.- Se cortan 4 piezas de tabique a la mitad con la cortadora en el laboratorio.



- 2.- Se nivelan las bases de triplay para recibir el tabicón para la elaboración de los muretes para la falla a compresión lateral como nos dice en el punto 2.8.2.1 de ensayos de muretes: “Los muretes (fig. 2.3) Tendrán una longitud de al menos una vez y media la longitud de la pieza y el número de hiladas necesario para que la altura sea aproximadamente igual a la longitud.”



3.- Para cumplir con el punto 2.8.2.1, se resuelve lo siguiente:

Se obtiene una longitud de $270 + 135 + 15 = 420$ mm y se tiene por altura $85 + 20 + 85 + 20 + 85 + 20 + 85 = 400$ mm por lo que se cumple que altura \approx longitud.



4.- Se obtienen las siguientes tablas para los muretes.

Murete	Longitud (mm)	Altura (mm)
1	400	402
2	400	400
3	400	400

Elaboración del cabeceo de los muretes de tabicón.

1.- Por último, después de haber esperado 28 días como lo indica el reglamento como proceso constructivo en donde debe alcanzar su máxima resistencia el junteo del mortero ,se debe de hacer el cabeceo a los tres muretes en las esquinas, se continúan los pasos vistos en el anexo A y adicionalmente se elabora un molde a base de triplay de 5 mm dejando un espesor de 5 mm entre el tabicón y la esquina del molde, con longitud de 6 cm que es el largo de la placa en escuadra que nos ayudara a la falla del murete.



2.- Se pone un poco de aceite en las orillas de nuestro molde y se aplica la mezcla como en el anexo A.

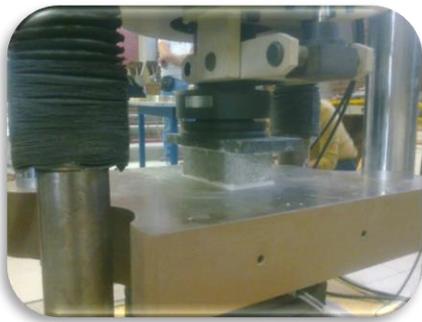


3.- Se hace el mismo procedimiento de los pasos 1 al 2, para la otra esquina contraria murete, colocando una calza para que no se lastime la parte posterior del murete.



ANEXO D. Falla de tabicón solo, pilas y muretes de tabicón.

1.- Ya realizado la preparación de las muestras se prosigue a ponerlas en la maquina universal.





BIBLIOGRAFÍA

1. ENVASES, Descartables del PET vs. Retornables de vidrio: Aspectos ambientales, sanitarios y económicos. Boletín Técnico informativo N° 19 CIT-COTEC, Centro de Información Técnica de PLASTIVIDA, Arg.2002, 7 pág.
2. INSTITUTO MEXICANO DE PLÁSTICOS INDUSTRIALES, IMPI (2004), *El Mundo de los Plásticos*, Instituto Mexicano de plásticos Industriales, 1ª edición, 32 pág.
3. Elementos de Mecánica del Medio Continuo. Enzo Levi. Ed: Limusa, México. 1971.
4. Manual de Cementos Cruz Azul 2010 Norma ISO 9000/94. Características del Cemento. 2010.
5. Manual Mc Graw-Hill de reciclaje. Lund Herbert f. Ed. Mc Graw-Hill, México. 1996.
6. El libro del reciclaje: Manual para la recuperación y aprovechamiento de las basuras. Del Val, Alfonso. Fundación MAPFRE, España 1997.
7. Reglamento de construcciones para el Distrito federal. Luis Arnal. Ed. Trillas, México. 2010.

REFERENCIAS

APREPET, A.C.

- [1] Centro de Investigaciones De Diseño Industrial (CIDI), UNAM.
- [2] Dirección General de Regulación y Gestión Ambiental del Agua y residuos, 2005.
- [3] Dirección General de Servicios Urbanos, 2005.
- [4] Franklin Associates, LTD / NAPCOR.
- [5] INNEC, Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos. México, 2012.
- [6] M. Alemán de la Vega. Conocer para actuar: el plástico y su reciclaje, Órgano Inf. la Asoc. Méx. Envase y Embalaje, Vol. 16, 2009.
- [7] Secretaría Del Medio Ambiente del Distrito Federal.
- [8] Elvira Schwanssee. Plásticos reciclados para la construcción. UNAM, 2006.
- [9] Potenciales para el reciclaje de los desechos de plásticos bajo criterios sustentables en México.

PÁGINAS DE INTERNET CONSULTADAS EN LA RED:

- 1) www.assic.com.mx/recycling/recycling_esp.asp
- 2) www.aprepet.com.mx
- 3) www.anipac.com
- 4) www.arqhys.com/arquitectura/plastico-historia.html
- 5) www.cempre.org.br
- 6) www.cosmos.mx
- 7) www.ecoce.com.mx
- 8) www.ine.gob.mx

-
- 9) www.ingenieriaplastica.com/novedades_ip/instituciones/cipres_historia.html
 - 10) www.infoplastic.net
 - 11) www.novapet.com.mx
 - 12) www.plastico.com.mx
 - 13) www.plastivida.com.ar
 - 14) www.semarnat.com.mx
 - 15) www.ue.legilación.com
 - 16) www.construmatica.com/construpedia/Ladrillo
 - 17) www.arqhys.com/arquitectura/plastico-historia.html