

ELABORACIÓN DE LADRILLO HUECO H-10 HACIENDO USO DE
MATERIAL PLÁSTICO RECICLADO (PET) Y ARENA MEZCLADOS
MEDIANTE FUSIÓN TÉRMICA.

MAYERLY JAIMES ARDILA



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2019

ELABORACIÓN DE LADRILLO HUECO H-10 HACIENDO USO DE
MATERIAL PLÁSTICO RECICLADO (PET) Y ARENA MEZCLADOS
MEDIANTE FUSIÓN TÉRMICA.

MAYERLY JAIMES ARDILA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Civil

Director
Luis Alberto Capacho
M.Sc en Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2019

Dedicado a

A mi Padres, pilares fundamentales en mi vida. Sin ellos, jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora. Su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar, no solo para mí, sino para mis hermanos y familia en general.

Agradezco a

A Dios, por permitirme culminar exitosamente este proyecto y llegar a los resultados esperados.

A mis padres, suegros, hermanos, cuñados y sobrinos, por el apoyo y amor incondicional que siempre he recibido de su parte.

A Felipe, el gran amor de mi vida porque junto a el he construido mi presente y su compañía ha sido fundamental para salir adelante; deseo vivir lo que sea pero a su lado.

A Capacho, el director y promotor de la idea que se desarrolló por su incondicional confianza en mis capacidades académicas.

A mis amigos Pedro y Christian que estuvieron ahí justo cuando lo necesité.

A la Piro, la Mechu, el Amasijo y Don Germán, los laboratoristas que acompañaron el desarrollo de este proyecto y a punta de risas y tinto, crearon el mejor ambiente de trabajo.

Mayerly Jaimes Ardila

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	12
1 OBJETIVOS	14
1.1. OBJETIVO GENERAL	14
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	14
2 MARCO TEÓRICO	15
2.1. ¿QUÉ ES EL PET?	15
2.1.1. Ladrillos de plástico PET reciclado.	16
2.1.2. Normativa colombiana para fabricación y uso de ladrillos	18
3 METODOLOGÍA	19
3.1. DEFINICIÓN DE VARIABLES DEPENDIENTES	19
3.2. MATERIA PRIMA	20
3.3. CÁLCULO DE LAS PROPORCIONES DE MATERIAL	22
3.4. DISEÑO DEL HORNO Y EL MOLDE DE LA PROBETA	25
3.5. ANÁLISIS DE LA TOXICIDAD DEL LADRILLO	28
4 ANÁLISIS Y RESULTADOS	34
4.1. ANÁLISIS DE LA ABSORCIÓN DEL LADRILLO	34
4.2. ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LADRILLO	36
4.2.1. Cálculos resistencia de bloques de cemento	38
4.2.2. Cálculos resistencia de ladrillos de PET y Arena	39
4.2.3. Comparación Normativa	40
4.3. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DEL MURO	41
4.3.1. Cálculos resistencia murete de bloques de cemento	42
4.3.2. Cálculos resistencia murete de ladrillos de PET y Arena	45

5 CONCLUSIONES

48

BIBLIOGRAFÍA

49

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Comportamiento de termoplásticos en el proceso de cristalización. El polímero PET posee un T_g 70°C-75°C y un T_m de 250°C 265°C . . .	17
Figura 2. Criterios fundamentales para enfocar el proyecto.	20
Figura 3. Distribución del material en el molde después de 1 hora en proce- so de fusión.	23
Figura 4. Textura de la muestra dela ladrillo de PET y Arena después de 4 horas en fusión, antes de cristalizarse.	24
Figura 5. Vista frontal del horno diseñado.	25
Figura 6. Vista superior del molde diseñado.	26
Figura 7. Entalpía de fusión para PET calculada en función de la temperatura.	30
Figura 8. Curva de resultados del TGA	31
Figura 9. Pruebas de compresión sobre probetas cilíndricas.	36
Figura 10. Montaje del ladrillo de cemento para hacer prueba de compresión.	38
Figura 11. Montaje del ladrillo de PET y arena para hacer prueba de compre- sión.	40
Figura 12. Murete de unidades perforadas.	41
Figura 13. Montaje del muro de ladrillos de cemento para hacer prueba de compresión diagonal.	43
Figura 14. Falla del muro de ladrillos de cemento.	44
Figura 15. Montaje del muro de ladrillos de PET y arena para hacer prueba de compresión diagonal.	45
Figura 16. Falla del muro de ladrillos de PET y arena.	46

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Granulometría de la arena fina.	21
Tabla 2. Peso específico de la arena fina.	22
Tabla 3. Ejemplos de dimensiones modulares y reales de unidades de mam- postería; dados por la norma NTC 296.	23
Tabla 4. Toxicidad de plásticos	29
Tabla 5. Parámetros del equipo de análisis TGA.	32
Tabla 6. Primera parte de la tabla de resultados del ensayo de termogravi- metría.	33
Tabla 7. Resultados del ensayo de absorción del ladrillo de PET y Arena. . .	35
Tabla 8. Requisitos de absorción de agua y clasificación del peso.	35
Tabla 9. Resultados de las pruebas de compresión sobre probetas de cilíndri- cas.	37
Tabla 10. Resistencia mínima de las unidades para muros de mampostería confinada.	40
Tabla 11. Factores de corrección altura contra espesor, para la resistencia a la compresión de muretes de mampostería.	42

RESUMEN

TÍTULO:	ELABORACIÓN DE LADRILLO HUECO H-10 HACIENDO USO DE MATERIAL PLÁSTICO RECICLADO (PET) Y ARENA MEZCLADOS MEDIANTE FUSIÓN TÉRMICA. *
AUTORES:	Mayerly Jaimes Ardila **
PALABRAS CLAVE:	PET, fusión térmica, solución ambiental, normatividad colombiana, metodología.

DESCRIPCIÓN

Este documento presenta el diseño y fabricación de ladrillos H-10 compuestos de arena y plástico reciclable PET; para uso estructural en edificaciones y afines. En su elaboración se empleó un proceso de fusión térmica, los ladrillos tienen una dosificación 1:2.334 de PET (polietileno de tereftalato) y arena respectivamente con un porcentaje de humedad de 3 %. Es de gran mérito para la Universidad Industrial de Santander y el Laboratorio de Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil que se entregue un resultado positivo de una propuesta que plantea una solución ambiental con el uso de un material reciclado y que ofrece una alternativa constructiva que cumple con toda la normatividad colombiana. Los ladrillos fabricados permitieron comprobar y obtener una buena resistencia mecánica a la compresión, en comparación con ladrillos convencionales. Se propone una metodología para el proceso de fabricación del ladrillo económica y fácil de implementar esperando que facilite la producción en masa de las mismas. Es una propuesta auto sustentable debido a que se utilizan como materia prima materiales reciclados (PET y virutas metálicas), promoviendo el uso de los recursos disponibles, en lugar de quemarlos o desecharlos; además los procesos industriales suelen ser los grandes contaminantes del planeta, ya sea por emisión de gases que se produce durante el proceso o por los desechos que estos generan. Uno de las industrias más contaminantes es la de producción de ladrillo, la cual usa mucho carbón y materiales como llantas para generar la energía.

*Trabajo de investigación.

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Luis Alberto Capacho, M.Sc en Ingeniería Civil.

ABSTRACT

TITLE: PREPARATION OF HOLLOW BRICK H-10 MAKING USE OF RECYCLED PLASTIC MATERIAL (PET) AND SAND MIXED BY THERMAL FUSION *

AUTHORS: Mayerly Jaimes Ardila **

KEYWORDS: PET, thermal fluke, environmental solution, Colombian regulations, methodology.

DESCRIPTION:

This document presents the design and manufacture of H-10 bricks composed of sand and PET recyclable plastic; for structural use in buildings and related areas. In its elaboration a thermal fusion process was used, the bricks have a dosage of 1: 2,334 PET (polyethylene terephthalate) and sand respectively with a humidity percentage of 3 %. It is of great merit for the Industrial University of Santander and the Materials Laboratory of the School of Civil Engineering that a positive result of a proposal that proposes an environmental solution with the use of a recycled material and that offers a constructive alternative that meets with all the Colombian regulations.

The manufactured bricks allowed to check and obtain a good mechanical resistance to compression, compared to conventional bricks. A methodology is proposed for the process of manufacturing the economic brick and easy to implement hoping that it facilitates the mass production of the same. It is a self-sustaining proposal because recycled materials (PET and metal shavings) are used as raw material, promoting the use of available resources, instead of burning or disposing of them; In addition, industrial processes tend to be the major pollutants on the planet, either by the emission of gases produced during the process or by the waste generated by them. One of the most polluting industries is brick production, which uses a lot of coal and materials such as tires to generate energy.

*Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Luis Alberto Capacho, M.Sc en Ingeniería Civil.

INTRODUCCIÓN

La población mundial está creciendo a un ritmo acelerado, y con ello la contaminación ambiental; en este punto el ser humano está preocupado por darles un mejor uso a los residuos plásticos por medio del proceso del reciclaje, el cual consiste en aplicarle un proceso al material para que así este pueda ser reutilizado y disminuir el uso de los recursos naturales .

Uno de los grandes contaminantes es el uso de plásticos, el cual es utilizado en muchos de los procesos y actividades de la vida cotidiana; especialmente la industria alimenticia ha sido la preferida por este tipo de material para su conservación y almacenamiento. Este material se conoce como PET (tereftalato de polietileno), que ofrece grandes ventajas además de los bajos costos de fabricación .

Entre sus propiedades más importantes podemos destacar las siguientes: actúa como barrera para los gases, como el CO_2 , humedad y el O_2 , es transparente y cristalino, aunque admite algunos colorantes, irrompible, liviano, impermeable, resistente a esfuerzos permanentes y al desgaste, ya que presenta alta rigidez y dureza, totalmente reciclable. No obstante, el tiempo que tarda en descomponerse es no menor a cien años, lo cual genera un alto nivel de contaminación, que se podría reducir dándole un segundo uso a estos residuos sólidos. Colombia se contamina con más de 1.500 millones de botellas de PET al año, que llegan a ríos, playas y campos, o en el mejor de los casos, a rellenos sanitarios .

Igualmente, otro de los factores que tiene un impacto ambiental negativo en su proceso de fabricación es el ladrillo de obra, que es uno de los materiales más usados a diario en toda construcción de casas, edificios, locales, bodegas, entre otros, y que tiene gran demanda en todos los países. Para este proceso, que es altamente contaminante, es necesario una fase en la que se tiene que hornear el producto para que adquiera las propiedades adecuadas de resistencia, compresión y dureza; para esta etapa es prescindible que los hornos utilicen como combustible productos

como leña, carbón, llantas, madera, acumuladores, plásticos o textiles, entre otros, que al ser incinerados emiten una gran cantidad de gases a la atmósfera, como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, bióxido de azufre y partículas sólidas.

Estos gases han sido por largo tiempo los causantes de problemas de salud pública y contaminación ambiental, como: lluvia ácida, olores asfixiantes, afectación de mucosidades y pulmones, gases inflamables en el medio ambiente, destrucción de mucosas intestinales, calentamiento de la biosfera, humos tóxicos. En algunos países se ha planteado la disminución de PET y en otros se ha prohibido el uso, pero no es suficiente para que el planeta mejore, el PET puede ser reutilizado y reciclado y con ello elaborar otros productos.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Utilizar material reciclado plástico PET para la fabricación de un ladrillo hueco H-10 con dosificación de arena mediante tratamiento térmico y comparar su resistencia con un ladrillo patrón de hormigón.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Fabricar un ladrillo H-10 con material plástico reciclado PET y dosificación de arena mediante función térmica.
- Realizar los respectivos ensayos de pruebas de resistencia y esfuerzos a el ladrillo H-10 fabricado anteriormente.
- Hacer un análisis comparativo de los resultados obtenidos con las características estándar de ladrillos H-10 de hormigón.
- Fabricar y hacer las pruebas respectivas a un muro y comparar los resultados con un muro patrón.

2. MARCO TEÓRICO

El PET es un termoplástico, que en la definición del libro Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de William Smith “que a los termoplásticos es necesario calentarlos para dales forma y después enfriarlo, de modo que adquieran y conserven la forma que se les dio”. Otra característica es que “pueden ser moldeados varias veces sin que haya un cambio significativo en sus propiedades”.

2.1 ¿QUÉ ES EL PET?

El tereftalato de polietileno, poli tereftalato de etileno, polietileno tereftalato o polietileno tereftalato (más conocido por sus siglas en inglés PET, polyethylene terephthalate) es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles. Algunas compañías manufacturan el PET y otros poliésteres bajo diferentes marcas comerciales que han pasado al uso común, por ejemplo, en los Estados Unidos y el Reino Unido usan los nombres de Mylar y Melinex. Usos. Químicamente el PET es un polímero que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres.

Es un polímero termoplástico lineal, con un alto grado de cristalinidad. Como todos los termoplásticos puede ser procesado mediante extrusión, inyección, inyección y soplado, soplado de preforma y termo conformado. Para evitar el crecimiento excesivo de las esferulitas y lamelas de cristales, este material debe ser rápidamente enfriado, con lo que se logra una mayor transparencia. La razón de su transparencia al enfriarse rápidamente consiste en que los cristales no alcanzan a desarrollarse completamente y su tamaño no interfiere («scattering» en inglés) con la trayectoria de la longitud de onda de la luz visible, de acuerdo con la teoría cuántica. Fue producido por primera vez en 1941 por los científicos británicos Whinfield y Dickson, quienes lo patentaron como polímero para la fabricación de fibras. Se debe recordar que su país estaba en plena guerra y existía una apremiante necesidad de buscar sustitutos para el algodón proveniente de Egipto.

A partir de 1946 se empezó a utilizar industrialmente como fibra y su uso textil ha proseguido hasta el presente. En 1952 se comenzó a emplear en forma de película para envasar alimentos. Pero la aplicación que le significó su principal mercado fue en envases rígidos, a partir de 1976. Pudo abrirse camino gracias a su particular aptitud para la fabricación de botellas para bebidas poco sensibles al oxígeno como por ejemplo el agua mineral y los refrescos carbonatados. Desde principios de los años 2000 se utiliza también para el envasado de cerveza..

Las Botellas hoy día, representan el uso más significativo de resinas de PET.

Hacer una botella de PET empieza desde las materias primas: etileno y paraxyleno. Los derivados de estas dos sustancias (glycol de etileno y ácido tereftalato) se hacen reaccionar para obtener la resina PET. La resina, en forma de cilindros pequeños llamados pellets, son fundidos e inyectados en un molde para hacer una preforma. La preforma, una clase de tubo ensayo, más corto que la botella que será, pero con las paredes más gruesas, se sopla y amolda entonces.

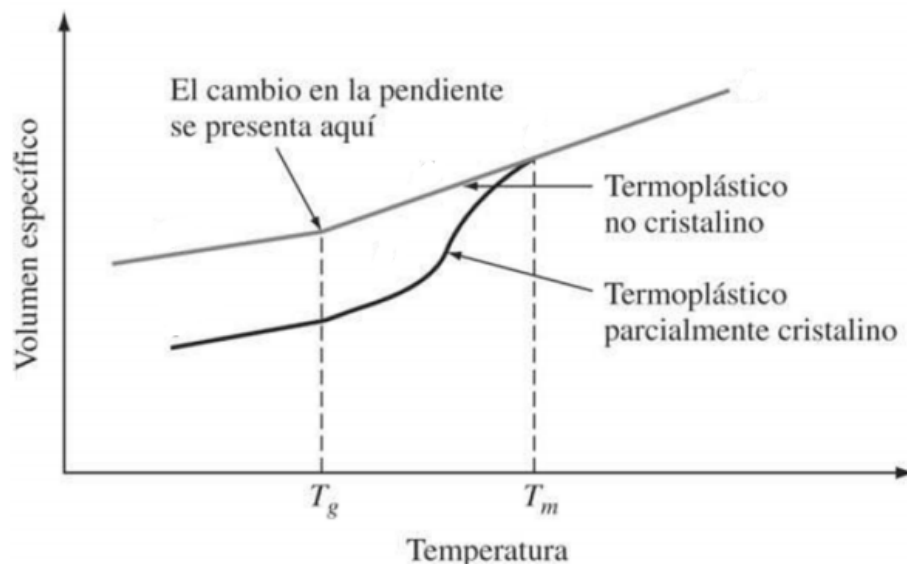
Durante la fase de soplo-moldura, el aire a alta presión es soplado en la preforma permitiéndole tomar la forma exacta del molde en el que fue introducido. El producto final es una botella transparente, fuerte y ligera. Para disminuir el impacto del PET, se debe empezar por incentivar su reciclaje por parte de las empresas involucradas, desde las productoras de envases hasta las industrias que hacen los alimentos que se empacan en este material.

2.1.1 Ladrillos de plástico PET reciclado. La idea es fabricar ladrillos a partir de plásticos PET reciclados, cemento y agua. Su fabricación consta en triturar plástico procedente de botellas desechables y todo tipo de envoltorios, lo que una vez reducidos se mezclan con cemento y agua y se depositan en moldes con secado en la intemperie. Sus cualidades en comparación con los ladrillos comunes es su alta aislación acústica y térmica, facilidad de clavar y aserrar con buena resistencia mecánica, al fuego y adaptación a la intemperie, económica y más liviana. Lo último permite que quien manipule este material no requiera tanta fuerza lo que abre

posibilidades de empleo y agiliza el proceso de construcción de inmuebles. Su des-ventaja es que no se deben realizar inmuebles de más de dos pisos. Este producto tiene la visión de generar un entorno más limpio y sustentable reduciendo la conta-minación generada por los plásticos PET que tardan 500 años en descomponerse, siendo una iniciativa probada y patentada en Argentina.

Es importante resaltar que la materia prima utilizada en este proyecto (PET) es con-siderada como un polímero termoplástico, el que puede ser clasificado de acuerdo a su punto de solidificación, ya sea en este caso cristalino o no cristalino, con lo que se podrán determinar algunas características estructurales para la solidificación del mismo. Si se toma en consideración el tipo de enfriamiento de este material, ya sea a bajas temperaturas (consideradas termoplásticos no cristalinos) o altas tempera-turas (termoplásticos cristalinos), se puede determinar la disminución o aumento del volumen.

Figura 1: Comportamiento de termoplásticos en el proceso de cristalización. El polímero PET posee un T_g 70°C-75°C y un T_m de 250°C 265°C .



En los procesos de cristalización del plástico se tienen dos (2) parámetros que son críticos: la temperatura de transición (t_g) y la temperatura de fusión (t_m). La tem-

peratura de transición depende del grado de cristalinidad, peso molecular promedio del polímero y la velocidad de enfriamiento del termoplástico. Otra característica a resaltar es que “el PET requiere un proceso sumamente complicado para ser recuperado luego de ser desechado, debido a que no es posible su reutilización para nuevas botellas plásticas, debido a razones de higiene” .

2.1.2 Normativa colombiana para fabricación y uso de ladrillos NTC 296, Ingeniería civil y arquitectura. Dimensiones modulares de unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos.

NTC 3495, Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería.

NTC 4017, Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla.

NTC 4227, Máquinas de ensayo. Verificación de tensión. Compresión y flexión.

NTC 6033, Etiquetas ambientales tipo I. Sello ambiental colombiano (SAC). Criterios ambientales para ladrillos y bloques de arcilla.

3. METODOLOGÍA

El proyecto se desarrolló con tres enfoques los cuales se fueron modificando a lo largo del mismo de manera simultanea, del control de los mismos dependía el éxito del proyecto. Lo primero fue un reto, garantizar la homogeneidad de la temperatura en las paredes del molde, dado que las dos resistencias de plato tubular de 6.^a 120 Voltios del horno, estaban ubicadas en la parte inferior del mismo por ello la textura del ladrillo abajo era mas homogénea, en el centro muy porosa y en la parte superior apenas y se derretía el plástico.

3.1 DEFINICIÓN DE VARIABLES DEPENDIENTES

La compactación del material dependía de que previamente se hubieran mezclado bien los materiales y la humedad se hubiera repartido con uniformidad, para eso se adicionaba material cada 100 gramos aproximadamente; al acomodarlo en el molde, por su geometría fue complicado compactar las esquinas, hasta que se hizo un molde en madera con las mismas dimensiones del ladrillo al cual se le aplicaban los golpes por capas.

La compactación del material dependía de que previamente se hubieran mezclado bien los materiales y la humedad se hubiera repartido con uniformidad, para eso se adicionaba material cada 100 gramos aproximadamente; al acomodarlo en el molde, por su geometría fue complicado compactar las esquinas, hasta que se hizo un molde en madera con las mismas dimensiones del ladrillo al cual se le aplicaban los golpes por capas.

Al desencofrar la muestra las paredes del molde estaban muy adheridas al ladrillo, por lo tanto no se podía sacar la muestra completa hacia arriba o hacia abajo; al golpear los vástagos la muestra se fracturaba hasta romperse, después de varios diseños que incluían pernos, bisagras, etc. y probar métodos para aplicar fuerza localizada como gato hidráulico elevador; para al final modificar las dimensiones de los vástagos centrales haciéndoles un ángulo de salida de 2.2 grados para las caras

Figura 2: Criterios fundamentales para enfocar el proyecto.



de mayor longitud y de 1.4 grados para las de menor longitud.

Las flechas de la figura 3 indican que las modificaciones a cada una de estas condiciones obligaban a las otras 2 a cambiar, por este motivo se invirtió mucho material y tiempo hasta llegar a las mejores relaciones.

3.2 MATERIA PRIMA

La primera fase del proyecto estuvo determinada por el tipo de material que se iba a utilizar dado que el PET se compró en 3 presentaciones y se buscó la más apropiada para el óptimo resultado del proyecto. Se realizaron tres pruebas con tres presentaciones diferentes de PET:

1. Escamas de PET.
2. Esferas de PET de diámetro inferior a 5 mm.

3. Triturado en polvo de PET.

Los resultados de estas pruebas arrojaron que las escamas de PET era la mejor presentación para usar; puesto que el PET en esferas no se distribuía de manera uniforme con la arena por su tamaño superior y el triturado de PET requería que el horno mantuviera una temperatura totalmente uniforme puesto que en el centro no se derretía el material.

La arena que se usó es una arena fina de la empresa transmateriales que presenta la siguiente granulometría:

Tabla 1: Granulometría de la arena fina.

Malla No	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa
4	10.9	0.876	0.876	99.124
8	13	1.045	1.921	98.076
16	29.6	2.380	4.301	95.699
30	145.7	11.717	16.018	83.982
50	686.3	55.19	71.208	28.792
100	296	23.8	95.008	4.992
Fondo	62	4.98	99.988	0
Total	1243.3	99.988		

Para el análisis granulométrico se utilizaron 1550.1 gramos de material. Los resultados obtenidos en el estudio se presentan a continuación.

- Porcentaje de Gravas = 0.876
- Porcentaje de Arenas = 95.112
- Porcentaje de Finos = 4.012

SUCS= Arena pobremente graduada.

La densidad de los materiales es:

- Densidad del PET: 1.316 gr/[cm²]
- Densidad de la arena fina: 2.41 gr/[cm²]

Para determinar la gravedad específica del suelo se utilizaron 500 gramos de material que pasa el tamiz No 4 (4.75 mm). El procedimiento que se siguió fue basado mediante el método B que describe la norma INV E 128-13.

Tabla 2: Peso específico de la arena fina.

Peso del frasco + Agua hasta la marca en el aire	653.1	Gramos
Peso de la muestra en condición S.S.S en el aire	500	Gramos
Peso de la muestra. Frasco y Agua agregada hasta la marca en el aire	945.6	Gramos
Peso de la muestra secada al horno	469.2	Gramos
Gravedad específica de los Sólidos		2.410

3.3 CÁLCULO DE LAS PROPORCIONES DE MATERIAL

Se establece las dimensiones exteriores de las unidades de mampostería, con base en los principios de coordinación modular.

Los fabricantes de unidades de mampostería, eligen libremente las medidas de fabricación de sus productos, como modulares o no modulares. En el caso de ofrecer medidas modulares, deben especificar si están coordinadas horizontal, vertical o espacialmente. El tipo o clase de unidad es indiferente para efectos de coordinación modular. Las dimensiones del ladrillo que se fabricó son:

Ancho: 40 cm Profundidad: 10 cm Altura: 20 cm

Tabla 3: Ejemplos de dimensiones modulares y reales de unidades de mampostería; dados por la norma NTC 296.

Dimensiones modulares (mm)			Dimensiones reales (mm)		
Longitud	Ancho	Altura	Longitud	Ancho	Altura
240	120	60	230	110	50
260	130	65	250	120	55
300	150	75	290	140	65
400	200	100	390	190	90

Dimensiones de las perforaciones medias del ladrillo:

Ancho: 13.5 cm Profundidad: 5 cm Altura: 20 cm

Figura 3: Distribución del material en el molde después de 1 hora en proceso de fusión.



Este proyecto es la continuación de uno donde ya se comprobó que la dosificación

óptima es:

- Porcentaje de volumen de PET: 30
- Porcentaje de volumen de Arena fina: 70
- Porcentaje de humedad óptima: 3

Se calculó un porcentaje de disminución de volumen por cambio de estado del PET después de ser sometido al proceso de fusión de 45, por esta razón el molde que se mando construir debe ser de 45 cm mínimo de altura.

- El volumen del molde es: $6650 \text{ [cm}^3\text{]}$
- La masa de arena necesaria para un ladrillo es: 11218.55 gr
- La masa de PET necesaria para un ladrillo es: 2625.42 gr
- El volumen de agua que hay que agregar a la muestra para su compactación es: 416.57 ml

Figura 4: Textura de la muestra del ladrillo de PET y Arena después de 4 horas en fusión, antes de cristalizarse.



3.4 DISEÑO DEL HORNO Y EL MOLDE DE LA PROBETA

La fabricación de un horno para fundir ladrillos se hizo en base a una estufa de resistencias con dos fogones (con una entrada lateral introducir la probeta). Se cubrió el exterior con manta de acero.

Figura 5: Vista frontal del horno diseñado.



Las dimensiones del horno son:

Ancho: 60 cm

Profundidad: 35 cm

Altura: 50 cm

Esta conformado por dos resistencias redondas en la parte de abajo y una resistencia interna alrededor de todo el molde del ladrillo con capacidad para disipar hasta 360 grados centígrados de temperatura; la coraza que cubre esta hecha en acero de calibre 1/8.^{es} decir 0.125 pulgadas o 3.18 mm de espesor, totalmente sellada y soldada, con una puerta en la parte frontal de dimensiones 55*35 cm y dos huecos en la parte superior de 1/32" para sacar los cables asbestados de las resistencias y para el espacio de la termocupla necesaria para controlarla temperatura.

Este horno trabaja conectado a instalación eléctrica interna de 110 voltios y por este método un ladrillo se demora en fundirse totalmente 3 horas.

Figura 6: Vista superior del molde diseñado.



Las dimensiones del molde con las visagras incluidas son: Ancho: 41 cm

Profundidad: 11 cm

Altura: 35 cm

El molde esta fabricado en acero de calibre No 8 es decir 0.1495 pulgadas o 3.8 mm de espesor, tiene un refuerzo en la parte superior para mantener los vástagos medios totalmente rectos en el momento de acomodar el material para aislar el material de las paredes del molde se probaron:

Grasa 3W 454gr Motorkote: Grasa antifricción que retiene su consistencia y estabilidad a altas temperaturas. Se adhiere fuertemente a superficies metálicas y no se resbala, disuelve o derrite. Excelente resistencia al lavado por agua. No tiene punto de goteo. Aceite quemado: Este aceite Contiene contaminantes volátiles (agua y combustible), solubles (aditivos de aceite), insolubles (partículas de carbono), óxidos de metales incluyendo óxido de plomo junto con una gran cantidad de otras trazas metálicas, y detergentes.

Papel aluminio: El papel de aluminio se utiliza también muy ampliamente como aislamiento térmico (barrera y reflectividad), en los intercambiadores de calor (conducción de calor) y los cables de electricidad (barrera y conductividad eléctrica). Las láminas en una aleación especial son utilizados incluso en las intervenciones estructurales en forma de panel de algunos componentes estructurales de los aviones.

Silicona UV3 aerosol: La silicona es un polímero inorgánico derivado del polisiloxano, está constituido por una serie de átomos de silicio y oxígeno alternados. Es inodoro e incoloro. La silicona es inerte y estable a altas temperaturas, lo que la hace útil en gran variedad de aplicaciones industriales, como lubricantes industriales, adhesivos, moldes entre otras aplicaciones. Se caracteriza por las propiedades adhesivas además de elasticidad, resistente a bacterias, microbios, rayos ultravioletas, repelente al agua, resistencia a los cambios térmicos y al paso del tiempo.

La que mejor apariencia y facilidad al desencofrar da al ladrillo es la silicona, aunque por su elevado precio no es rentable para elaboración en masa de estos ladrillos; en tal caso se recomienda el uso de papel aluminio y una capa de aceite quemado.

Para facilitar el desencofrado de la muestra se diseñaron los vástagos centrales con un ángulo de salida que disminuye su área en la parte inferior. Las dimensiones del vástago son:

Parte superior: Ancho: 13.5 cm Profundidad: 5 cm

Parte inferior: Ancho: 10.5 cm Profundidad: 3 cm

La altura constante en ambos vástagos: 35 cm

3.5 ANÁLISIS DE LA TOXICIDAD DEL LADRILLO

La técnica de Análisis Termogravimétrico, (del acrónimo inglés TGA, Thermal Gravitric Analysis), mide la cantidad y rapidez del cambio en peso de una muestra en función de la temperatura y/o del tiempo en una atmósfera controlada. De manera general, permite realizar medidas para determinar la composición de los materiales y predecir su estabilidad a temperaturas de hasta 1 500 °C.

La técnica de Análisis Termogravimétrico, (del acrónimo inglés TGA, Thermal Gravitric Analysis), mide la cantidad y rapidez del cambio en peso de una muestra en función de la temperatura y/o del tiempo en una atmósfera controlada. De manera general, permite realizar medidas para determinar la composición de los materiales y predecir su estabilidad a temperaturas de hasta 1 500 °C.

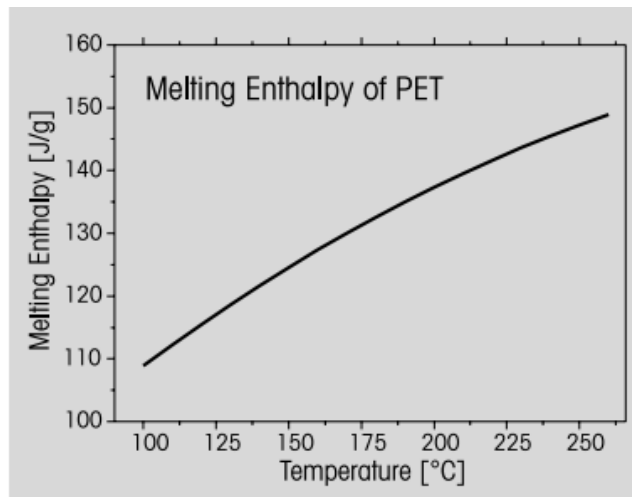
Esta técnica puede, por tanto, caracterizar materiales que presentan pérdida o ganancia de peso debido a la descomposición, oxidación o deshidratación.

Tabla 4: Toxicidad de plásticos

Plástico	Componentes de los gases	Límites de exposición	Efectos secundarios
Polipropileno	Formaldehído	NIOSH TWA: 0.016 ppm OSHA TWA: 0.75 ppm	Irritación de ojos, nariz , garganta y vías respiratorias; lagrimeo (flujo de lágrimas); tos; sibilancias ; potencial carcinógeno ocupacional.
	Acroleína	NIOSH TWA: 0.1 ppm OSHA TWA: 0.1 ppm	Irritación ojos, piel, y en membranas mucosas; disminución de la función pulmonar;edema pulmonar retrasado; enfermedad pulmonar obstructiva crónica.
	Acetona	NIOSH TWA: 250 ppm OSHA TWA: 1000 ppm	Irritación de ojos ,nariz y la garganta; dolor de cabeza, mareos, depresión del sistema nervioso central; dermatitis.
Poliétileno (baja densidad)	Butano	NIOSH TWA: 800 ppm	Somnolencia, narcosis y asfixia.
Poliestireno	Estireno	NIOSH TWA: 50 ppm OSHA TWA: 100 ppm	Somnolencia, narcosis y asfixia.

Las técnicas de Calorimetría Diferencial de Barrido (del acrónimo inglés DCS, Differential Scanning Calorimetry) y Análisis Térmico Diferencial (del acrónimo inglés DTA, Differential Thermal Analysis) miden la diferencia de temperatura entre una muestra y una referencia interna en función del tiempo y de la temperatura.

Figura 7: Entalpía de fusión para PET calculada en función de la temperatura.



El análisis termogravimétrico (TGA) se utiliza de forma generalizada con DSC, TMA y DMA. El TGA mide la masa de una muestra mientras esta última se calienta o se enfría en una atmósfera definida. El TGA se usa principalmente para la caracterización de materiales en lo que respecta a su composición. Un instrumento de TGA/DSC le permite medir incluso eventos térmicos que no provocan un cambio de masa, como la fusión, la transición vítrea u otro tipo de transiciones de fase sólido-sólido.

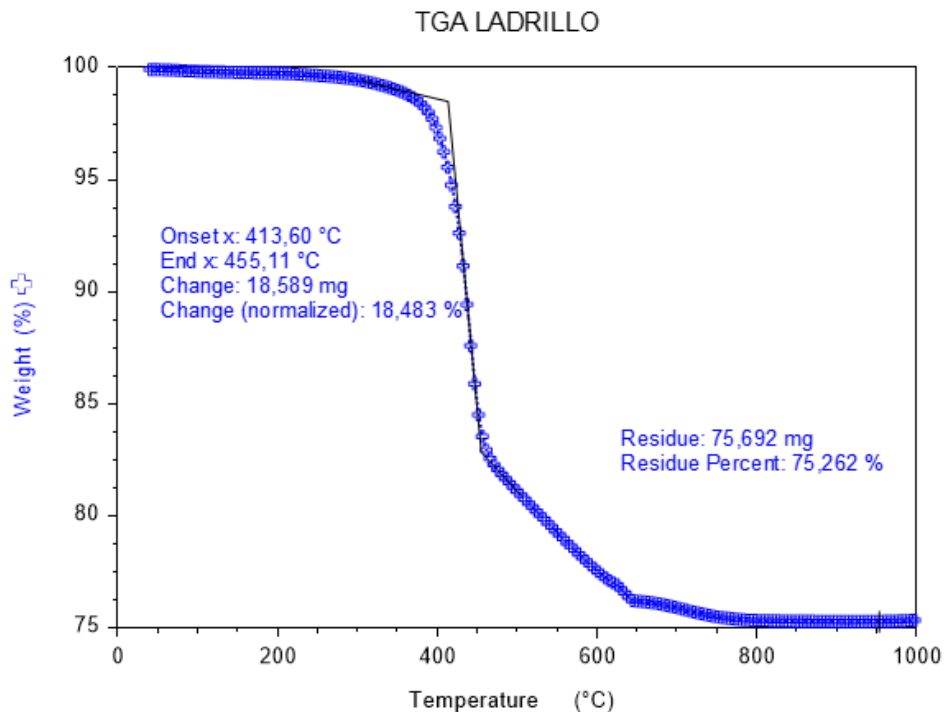
La diferencia de temperatura observada se traduce en un flujo de calor. Esto permite medir transiciones endotérmicas y exotérmicas en función de dicha temperatura. Estas técnicas se utilizan en la caracterización de polímeros y adhesivos, productos farmacéuticos, productos alimenticios y biológicos, cerámicas, semiconductores y materiales orgánicos, inorgánicos, metálicos y compuestos.

El Análisis termogravimétrico de la muestra del ladrillo arrojó los siguientes resultados La masa que se analizó fue: 100.573 mg Se consiguió un residuo porcentual de 75.262 y un residuo en masa de 75.692.

Se debe aclarar que al iniciar a hacer la prueba la humedad del equipo es la del am-

biente es decir la humedad bajo presión atmosférica lo primero que hace el equipo en poner el equilibrio la humedad de la muestra y la interna por esto los resultados de humedad son 0,034 de pérdida.

Figura 8: Curva de resultados del TGA



La muestra alcanza el punto máximo de fusión antes de la cristalización del material a 413.6 C; con un porcentaje de desgaste de material de 18.483%. Se valora la cristalinidad de una muestra a partir de su comportamiento de fusión. Se plantea el problema de la entalpía de fusión de una muestra de referencia ficticia, con porcentaje de cristalinidad de 100. También es muy importante para el resultado la elección de la línea base y de los límites de integración. A fin de obtener resultados producibles se recomienda extrapolar la línea base en todo el intervalo, desde inmediatamente posterior a la transición vítrea hasta el fin de la fusión.

Tabla 5: Parámetros del equipo de análisis TGA.

Segments	
No.	Description
 1	Equilibrate 40,00 °C
 2	Select Gas: Gas 2
 3	Isothermal 5,0 min
 4	Ramp 10 °C/min to 1000,00 °C
 5	Data Off
 6	Mass Flow 10 mL/min
 7	Equilibrate 45,00 °C
 8	Mark End of Cycle

Se observa la perdida de volumen y como disminuye el porcentaje de peso de material en función de la temperatura y el tiempo; el tamaño de esta matriz de datos es de [119154 , 4].

EL Análisis por TGA tiene en cuenta los siguientes parámetros:

Estabilidad térmica de materiales. Composición de un sistema multicomponente. Estudio de vida media de diversos productos. Estudio de descomposición cinética. Efecto de atmósferas reactivas y/o corrosivas en distintos materiales (estabilidad frente a oxidación, etc). Contenido de humedad y/o volátiles. Estudios de adsorción/desorción.

El análisis de TGA arrojando resultados cada 0.0016667 minutos el ultimo resultado que arrojó es:

Tiempo: 101,967 [min]

Temperatura: 998,425 [C]

Tabla 6: Primera parte de la tabla de resultados del ensayo de termogravimetría.

Time min	Temperature °C	Weight mg	Weight %
0	40,393	100,5	99,9479
1,67E-03	40,395	100,5	99,9479
3,33E-03	40,397	100,5	99,9479
5,00E-03	40,399	100,5	99,9478
6,67E-03	40,401	100,5	99,9478
8,33E-03	40,404	100,5	99,9478
0,01	40,406	100,5	99,9477
0,0116667	40,408	100,5	99,9477
0,0133333	40,41	100,5	99,9477
0,015	40,412	100,5	99,9477
0,0166667	40,414	100,5	99,9476
0,0183333	40,416	100,5	99,9476
0,02	40,419	100,5	99,9476
0,0216667	40,421	100,5	99,9476
0,0233333	40,423	100,5	99,9475
0,025	40,425	100,5	99,9475
0,0266667	40,427	100,5	99,9475
0,0283333	40,429	100,5	99,9475
0,03	40,431	100,5	99,9474
0,0316667	40,433	100,5	99,9474
0,0333333	40,435	100,5	99,9474

Peso: 75,74 [mg]

Porcentaje de peso respecto al inicial: 75,3134 %

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Las pruebas a cada una de las muestras de probetas y de ladrillos se realizaron en el laboratorio de suelos de la Facultad de ingeniería Civil de la Universidad de Santander. Para estas pruebas se utilizó una máquina de tracción (PCE-MtS500), la cual arroja datos sobre la compresión que resiste el ladrillo fabricado y su límite de quiebre.

4.1 ANÁLISIS DE LA ABSORCIÓN DEL LADRILLO

El ensayo de absorción mide el incremento en la masa de una agregado seco cuando es sumergido en agua durante veinticuatro horas, a temperatura ambiente. Este aumento de masa tiene lugar debido al agua que se introduce en los poros del material; no incluye el agua adherida a la superficie. Se expresa como por ciento de la masa seca, y es el índice de la porosidad del material.

La absorción de los agregados se debe determinar de acuerdo con las normas ASTM C70, C127, C128 y C566 de manera que se pueda controlar el contenido neto de agua en el concreto y se puedan determinar los pesos correctos de cada mezcla.

El cálculo de la absorción se basa en la norma NTC 4017 en donde se establece:

$$Abs = 100 * \frac{W_{ss} + W_s}{W_s} \quad (1)$$

Donde:

Wss: Masa sumergida en agua del espécimen saturado luego de inmersión en agua fría, en g. Ws: masa seca del espécimen antes de inmersión, en g.

Para controlar la saturación se sumergen los especímenes secos y fríos, sin inmersión parcial preliminar, en agua limpia (blanda, destilada o de lluvia) entre 15,5 C y 30 C durante 24 h. Se retira el espécimen, se seca el exceso de agua con un paño

Tabla 7: Resultados del ensayo de absorción del ladrillo de PET y Arena.

CARACTERÍSTICAS DEL ESPÉCIMEN

Longitud : 21 cm Altura : 15 cm Espesor : 10 cm

RESULTADOS

ESPECIMEN	PESO SECO g	PESO SATURADO g	ABSORCIÓN %
M1	4768.4	4781.9	0.28

húmedo y se pesa. El pesaje de cada espécimen se debe hacer antes de que pasen 300 segundos de retirado del agua.

El ladrillo de cemento convencional tiene un porcentaje de 14.86 % de absorción.

La absorción promedio en agua fría de todos los especímenes ensayados se registra como la absorción del lote y se reporta con una aproximación del 0,1 por ciento.

Tabla 8: Requisitos de absorción de agua y clasificación del peso.

Absorción de agua (Aa) % según el peso (densidad) del concreto secado en horno, kg/m ³		
Promedio de 3 unidades, máximo, %		
Peso liviano, menos de 1 680 kg/m ³	Peso mediano, de 1 680 kg/m ³ hasta menos de 2 000 kg/m ³	Peso normal, 2 000 kg/m ³ o más
15 %	12 %	9 %
18 %	15 %	12 %

El ladrillo de PET y Arena es de peso mediano equivalente a 1723.2 [kg/m³]

4.2 ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LADRILLO

Las pruebas a cada una de las muestras de probetas y de ladrillos se realizaron en el laboratorio de suelos de la Facultad de ingeniería Civil de la Universidad de Santander. Para estas pruebas se utilizó una máquina de tracción (PCE-MtS500), la cual arroja datos sobre la compresión que resiste el ladrillo fabricado y su límite de quiebre.

El esfuerzo y la deformación de compresión se calculan y se trazan como un diagrama carga-deformación.

El método usado consiste en aplicar una carga axial de compresión a los moldes a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla. Este tipo de ensayo se realizó siguiendo la norma técnica colombiana NTC 673 (Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto)

Figura 9: Pruebas de compresión sobre probetas cilíndricas.



Las mejores condiciones en cuanto a las propiedades de resistencia a la compresión

como la del aumento de la resistencia obedece al incremento del límite plástico del PET en el material en forma en escamas, lo cual aumenta las propiedades mecánicas del ladrillo.

El peso aproximado de cada ladrillo de PET y comparándolos entre sí con los ladrillos de cemento a los cuales se les realizó la prueba, se observa que la mezcla con mayor contenido de PET es la ideal en cuanto a peso y apariencia.

Diámetro de la probeta = 5 cm

Altura de la probeta = 10 cm

Número de Capas = 3

Número de golpes por capa = 8

Área de la probeta = $19.6 \text{ [cm}^2\text{]}$

Tabla 9: Resultados de las pruebas de compresión sobre probetas de cilíndricas.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	RESISTENCIA ÚLTIMA	ESFUERZO		TIPO DE FALLA NUMERAL 7,6 NTC 673:10
	Kgf	kgf/cm ²	PSI	
2	1470	74,89	1070	TIPO 2
3	1510	76,923	1099	TIPO 2
4	1908	97,2	1389	TIPO 2
5	2228	113,5	1621	TIPO 2
6	2332	118,8	1697	TIPO 3
7	786	40,04	572	TIPO 2
8	2332	118,8	1697	TIPO 2
9	2131	108,56	1551	TIPO 3
60-1	1130	57,565	822	TIPO 2
60-2	667	34,031	486	TIPO 1
60-3	1665	84,949	1214	TIPO 2

Los resultados que se muestran en el Cuadro II, corresponden a probetas cilíndricas con dosificación de PET y Arena, 30 % y 70 % respectivamente.

4.2.1 Cálculos resistencia de bloques de cemento La Dosificación del ladrillo de cemento es 1:5:2 (una de cemento, 5 de Arena, 2 de piedra partida) esta última pulverizada.

(Cemento, Arena y piedra)+ porcentaje agua en proporción de 9.

Para calcular la resistencia a la compresión de cada espécimen como se indica a continuación. :

C = Resistencia del espécimen a la compresión expresada en $\text{kgf}/[\text{cm}^2]$.

W = Carga máxima (de rotura), en kgf , ó la indicada por la máquina de ensayo.

A = Promedio de las áreas brutas de las superficies superior e inferior del espécimen, en $[\text{cm}^2]$

Figura 10: Montaje del ladrillo de cemento para hacer prueba de compresión.



- Peso del ladrillo de cemento = 18.7 [kg]

W del bloque de cemento = 10530 [kgf]

$$A = \frac{40 * 10 - 2 * 13,5 * 5}{2} + \frac{40 * 10 - 2 * 8 * 2}{2} \quad (2)$$

Área aferente receptora de carga = 316.5 [cm^2]

$$C = \frac{W}{A} = \frac{10530}{316,5} \quad (3)$$

Resistencia a la compresión del bloque de cemento = 43.270 kgf/[cm^2]

4.2.2 Cálculos resistencia de ladrillos de PET y Arena • Peso del ladrillo de PET = 12.0624 [kg]

W del bloque de PET y Arena = 13250 [kgf]

$$A = \frac{40 * 10 - 2 * 13,5 * 5}{2} + \frac{40 * 10 - 2 * 10,5 * 3}{2} \quad (4)$$

Área aferente receptora de carga = 301 [cm^2]

$$C = \frac{W}{A} = \frac{13250}{301} \quad (5)$$

Resistencia a la compresión del ladrillo de PET = 54.019 kgf/[cm^2]

Figura 11: Montaje del ladrillo de PET y arena para hacer prueba de compresión.



4.2.3 Comparación Normativa Se especifica el método de calibración de las maquinas aptas para los ensayos a compresión y también referencian la maquina con la que se realizo los ensayos para los datos de referencia en la tabla, dicha maquina es DIN 51 223. Compresión Testing Machines; Requerimientos quien cumple con los estándares de calibración que piden de acuerdo a la norma. Dicha maquina tiene el sistema operativo similar a las maquina a compresión que tiene la universidad por esto es valida su comparación.

Tabla 10: Resistencia mínima de las unidades para muros de mampostería confinada.

Tipo de unidad	f'_{cu} (MPa)
Tolete de arcilla	15
Bloque de perforación horizontal de arcilla	3
Bloque de perforación vertical de concreto o de arcilla (sobre área neta)	5

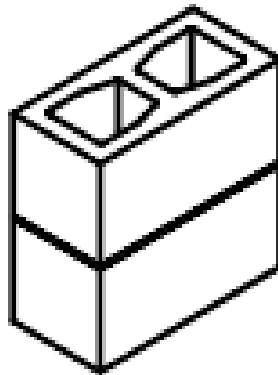
El cuadro III es tomado del titulo D de la norma NSR - 10 / D.10.3-1 En donde f'_{cu}

es la resistencia especificada a la compresión de la unidad de mampostería medida sobre el área neta.

4.3 ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DEL MURO

Los muretes se deben construir con las unidades apiladas en hilera. Las unidades deben quedar en la misma posición que van a tener en la construcción. En el momento de la elaboración de los muretes, la superficie de las unidades debe estar libre de humedad. Cuando la construcción, a la que corresponden los toletes, es de mampostería de varias hojas (muros adosados), elaboradas con diferentes unidades de mampostería, se deben elaborar muretes con cada tipo de las unidades representativas de cada hoja, y se deben ensayar por separado. El ancho mínimo de los toletes debe ser 100 mm.

Figura 12: Murete de unidades perforadas.



Se deben construir muretes de, al menos, dos unidades de altura, con una relación (altura / espesor) del murete, entre 1,3 y 7,0.

$$\frac{Altura}{Espesor} = \frac{42}{10} = 4,2 \quad (6)$$

Se debe determinar el factor de corrección. Si la relación entre la altura y el espesor de la mampostería, no se encuentra entre los valores presentados, se debe deter-

minar el factor de corrección correspondiente, mediante la interpolación lineal entre los valores dados.

Luego se debe multiplicar la resistencia del murete de mampostería por el factor de corrección para el murete respectivo (basados en la norma NTC 3495).

Tabla 11: Factores de corrección altura contra espesor, para la resistencia a la compresión de muretes de mampostería.

a_m/e_m^A	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
Factor de corrección	0,75	0,86	1,00	1,04	1,07	1,15	1,22

$$F.C = 1,15 + \frac{4,2 - 4,0 * 1,22 - 1,15}{5,0 - 4,0} = 1,164 \quad (7)$$

4.3.1 Cálculos resistencia murete de bloques de cemento Se debe calcular la resistencia de cada murete de mampostería, dividiendo la carga máxima a la compresión, soportada por el murete, por el área transversal neta correspondiente como se indica a continuación:

Figura 13: Montaje del muro de ladrillos de cemento para hacer prueba de compresión diagonal.



C = Resistencia del murete a la compresión aplicada en cada extremo opuesto de la diagonal principal expresada en $\text{kgf}/[\text{cm}^2]$.

W = Carga máxima (de rotura), en kgf, ó la indicada por la máquina de ensayo.

L = Línea recta diagonal medida entre puntas opuestas del murete; calculada como la hipotenusa del triangulo formado por las dos caras del cuadrado, en [cm].

A = Área aferente entre punta y punta extremos medida en linea recta diagonal del espécimen, en $[\text{cm}^2]$

Figura 14: Falla del muro de ladrillos de cemento.



W murete de bloques de cemento = 4200 [kgf]

$$L = \sqrt{[(20 * 3) + (2 * 1)]^2 + [(40 * 1,5) + (1 * 1)]^2} \quad (8)$$

Longitud de la diagonal de los muretes = 86.9770 [cm]

$$A = 10 * 86,9770 \quad (9)$$

Área aferente de la diagonal de los muretes = 869.77 [cm^2]

$$C = F_{corre} \frac{W}{A} = 1,164 * \frac{4200}{869,77} \quad (10)$$

Resistencia a la compresión C del murete hecho con bloques de cemento = 5.6208 $kgf/[cm^2]$

4.3.2 Cálculos resistencia murete de ladrillos de PET y Arena La textura del ladrillo de PET es prácticamente lisa, sin presencia de poros; la cara del ladrillo que se comparte con la junta cuenta con la pequeña capa de silicona que se utilizó para evitar la adherencia del material al molde. Esto aclara el hecho de que la carga se repartiera por las juntas y solo un ladrillo se venciera.

Figura 15: Montaje del muro de ladrillos de PET y arena para hacer prueba de compresión diagonal.



Se elaboró un probeta de mortero con dosificación 1:3 con las siguientes dimensiones: Diámetro: 10 cm Altura: 20 cm Peso: 3406 gr

La edad del cilindro fue 7 días, logrando una resistencia última de 19237 kgf.

Esfuerzo del mortero = $245.1 \text{ kgf}/[\text{cm}^2]$

Tipo de falla = Tipo 5

Figura 16: Falla del muro de ladrillos de PET y arena.



W murete de ladrillo de PET = 3100 [kgf]

Área aferente de la diagonal de los muretes = 869.77 [cm^2]

$$C = F_{corre} \frac{W}{A} = 1,164 * \frac{3100}{869,77} \quad (11)$$

Resistencia a la compresión C del murete hecho con bloques de cemento = 4.1487
kgf/[cm^2]

5. CONCLUSIONES

- Por primera vez en la UIS se hace uso de un material reciclable como elemento para uso en la mampostería de cualquier edificación y se comprueba que su fabricación es viable y es claramente una solución amigable con el medio ambiente.
- Se elaboró un ladrillo con material reciclable PET y Arena que en apariencia se ve mejor que el ladrillo convencional de cemento y es 32 % mas resistente a compresión.
- Se recomienda la silicona como aislante entre la muestra y el molde, siempre y cuando se retire totalmente del las caras del ladrillo que se comparten con la junta para así mejorar la adherencia del mortero y al distribuirse la carga sobre la diagonal del murete vaya por el interior de cada bloque.
- En términos de absorción el ladrillo resultado es muy superior al de cemento dado que absorbe el 98 % menos que el convencional y la variación en peso de los dos bloques es de mas o menos 7 %. Y es mucho menor que el 12 % exigido por la norma para ser un ladrillo de clase alta.
- Respecto a la toxicidad del ladrillo se concluye que los procesos de fabricación tiene efectos secundarios muy peligrosos para la salud ya que pueden llegar a ser altamente tóxicos produciendo somnolencia, narcosis y asfixia.
- El análisis por TGA arroja un excelente comportamiento del material con un desgaste muy mínimo de 18.483 % y garantizándose más un 96 % de reciclabilidad del material, al arrojar un porcentaje de 75.7 % de residuo.
- El ladrillo de PET y Arena cumple con la resistencia mínima exigida por la norma de 5 Mpa, lo cual indica que se puede usar como unidad para muros de mampostería confinada.
- La construcción de los muretes permitió ver el comportamiento de los ladrillos de PET y Arena ante una carga diagonal determinando una linea de rotura delimitado por el mortero de pega por lo tanto se asume que aunque la resistencia resultado fuera menor que la del murete armado con ladrillo de cemento; con un mejor sistema de pega el ladrillo de PET actuará aumentando su resistencia.

BIBLIOGRAFÍA

- [Alejandro Martínez] Alejandro Martínez, Mónica Cote, D. y. F. d. L. r. M. a. B. d. P. In 2014, pp.76-80.
- [Angelica M. Aponte] Angelica M. Aponte, Tania J. Salcedo, A. d. u. d. m. g. e. c. a. y. p. P. r. p. l. f. d. e. n. e. e. l. c. In 2018.
- [E. Uribe Botero y E. Sánchez Triana] E. Uribe Botero y E. Sánchez Triana, C. i. e. C. In 1994.
- [Georg Widmann] Georg Widmann, Informacion TA: Intepretación de curvas TGA, U. In 1/2001.
- [Instituto de Seguros Sociales. La extracción de la arcilla] Instituto de Seguros Sociales. La extracción de la arcilla, la fabricación de ladrillos y vitrificados y la salud de los trabajadores. Colombia: Editorial ISS, F. E. B. In 1998, pp.1-27.
- [Lucía E. Arias] Lucía E. Arias, Carlos E. Alderete, C. d. l. a. d. a. e. b. c. d. s.-c. R. F. M. In *Centro Regional de Investigaciones de Arquitectura de Tierra Cruda (CRIATiC-FAU-UNT)*.
- [M. R. Gómez Antón] M. R. Gómez Antón, C. d. c. g. l. a. d. l. p. E. U. d. S. In 2014, pp. 1-15.
- [Norma técnica NTC COLOMBIANA 4017] Norma técnica NTC COLOMBIANA 4017, M. p. m. y. e. d. u. d. m. y. o. p. d. a. In 2005.
- [Rosana Gaggiano] Rosana Gaggiano, L. y. p. p. c. p. r. a. p. l. a. In 2008, pp.137-163.
- [Universidad Centroamericana del Salvador] Universidad Centroamericana del Salvador, D. y. f. d. l. m. p.
- [William F. Smith] William F. Smith, 4ta Edición, F. d. l. c. e. i. d. m. M.-H. In 2006.
- [X. E. Castells] X. E. Castells, R. d. r. i. M. E. D. d. S. In 2000, pp. 1-21.