



## INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL

### EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y ABSORCIÓN DE LOS BLOQUES HUECOS A BASE DE CEMENTO, ARENA, SASCAB Y GRAVILLA CON ADICIÓN DE TRITURADO FINO DE PET.

Tesis que para obtener el grado de:

Maestra en Construcción

Presenta:

**Arq. Yuriko Monzerrat Moran Ruiz**

Director:

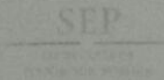
M.C. Alberto Yeladaqui Tello

Codirector

Dr. Julio Cesar Cruz Argüello

Chetumal, Quintana Roo, México

Septiembre 2017



"Año del Centenario de la Promulgación de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos"

DEPENDENCIA: DIRECCIÓN  
SECCIÓN: División de Estudios de Posgrado  
OFICIO No. W-322/2015

Chetumal, Q. Roo, 19 de septiembre de 2017.

ASUNTO: Autorización de impresión.

**C. YURIKO MONZERRAT MORAN RUIZ**

De acuerdo a las Disposiciones para la Operación de Estudios de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, dependiente de la Secretaría de Educación Pública, y habiendo cumplido con todas las indicaciones que el comité tutorial le hizo con respecto a su tesis titulada:

**"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y ABSORCIÓN DE LOS BLOQUES HUECOS A BASE DE CEMENTO, ARENA, SASCAB Y GRAVILLA CON ADICIÓN DE TRITURADO FINO DE PET"**

La División a mi cargo le concede la autorización para que proceda a la impresión de la misma.

ATENTAMENTE

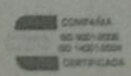
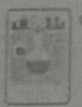
"Cultura Ciencia y Tecnología para la superación de México"

DRA. ALICIA CARRILLO BASTOS  
ENCARGADA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE CHETUMAL  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS  
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

C.c.p. Departamento de Servicios Escolares.  
C.c.p. Minutario.  
ACB/Gaby



## AGRADECIMIENTOS

*A **mi madre** por ser el pilar de mi vida, apoyarme, escucharme, estar al pendiente de mí en todo momento y por ser la mamá más mala del mundo, Te amo.*

*A **mi padre** por apoyar mi educación.*

*A **mi familia** por creer en mí.*

*A **Tiare** por apoyarme y darme ánimos cuando más lo necesite además de creer en mí, gracias.  
T.A.T.*

*A **mis amigos** Christian Orozco, Rodrigo Delgadillo, Victor Elizondo, Karina Herrera y Samanta Gonzales, por creer en mí y apoyarme en todo momento a pesar de la distancia. Y espero que la vida los llene de bendiciones siempre, los amo.*

*A **mi nuevo amigo** Abraham Gómez por ayudarme siempre en mis pruebas, bendiciones a ti y tu familia y que nuestra amistad continúe a pesar de la distancia.*

*A **la Bloquera Triblok** por permitirme utilizar su equipo para poder realizar mi investigación.*

*A **los Maestros y Doctores** de la Maestría en Construcción del Instituto Tecnológico de Chetumal por ser parte de mi desarrollo académico.*

*Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** por brindarme un apoyo y la oportunidad de seguir superándome profesionalmente, gracias.*

*A **Dios y a la vida** por llenarme de bendiciones siempre, demostrarme que jamás me rinda y que siga mis sueños.*

*A **Lyubit y Chester** por ser mis mejores amigos con 4 patas.*

## **DEDICATORIA**

*A mi Madre Emma Ruiz y a mi padre Rogelio Moran.*

*A Ella que sonríe y se sorprende siempre.*

## CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>VII</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>X</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XI</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPITULO I. FUNDAMENTOS</b> .....	<b>2</b>
<b>1.1. ANTECEDENTES</b> .....	<b>2</b>
1.1.1. PET .....	2
1.1.2. EL PET EN LA CONSTRUCCIÓN. ....	3
<b>1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>4</b>
1.2.1. DELIMITACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO.....	4
1.2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	4
<b>1.3. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>4</b>
1.3.1. EL SUELO DE LA REGION. ....	4
1.3.2. ¿QUÉ ES UN BLOQUE? .....	5
1.3.3. TIPOS DE MURO.....	7
1.3.4. PET. ....	7
<b>1.4. REVISION DEL ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>8</b>
1.4.1. INVESTIGACIONES GENERALES .....	8
1.4.1.1. UTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE PULPA KRAFT EN LADRILLOS DE ARCILLA. ....	8
1.4.1.2. EL USO DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN MEZCLA DE CONCRETO COMO REEMPLAZO DE AGREGADO. ....	9
1.4.1.3. EL USO DE PLÁSTICO RECICLADO EN HORMIGÓN.....	10
1.4.1.4. EL USO DE RESIDUOS DE PROCESAMIENTO DE PAPEL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE LADRILLO POROSO CON UNA REDUCCIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	10
1.4.1.5. CONTENIDO Y TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE PET.....	12
1.4.2. INVESTIGACIONES LOCALES .....	13
1.4.2.1. TABICONES A BASE DE SUELO CALIZO NO CONSOLIDADO Y CEMENTO PORTLAND PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS EN VIVIENDAS.....	13
1.4.2.2. SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA MUROS: BLOQUES A BASE DE CONCRETO Y BOTELLAS DE PET DE POST-CONSUMO.....	14
1.4.2.3. EVALUACIÓN DE LAS RESISTENCIAS MECÁNICAS (COMPRESIÓN Y CORTANTE) DE UN MORTERO PARA APLANADOS CON LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO FINO DE PET. ....	15

1.4.2.4. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE BLOQUES HUECOS DE CONCRETO FABRICADOS CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE PET TRITURADO. ....	15
<b>1.5. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>16</b>
<b>1.6. HIPÓTESIS .....</b>	<b>17</b>
<b>1.7. PREGUNTAS DE INVESTIGACION.....</b>	<b>17</b>
<b>1.8. VIABILIDAD.....</b>	<b>17</b>
<b>1.9. OBJETIVOS Y META .....</b>	<b>18</b>
1.9.1. OBJETIVO GENERAL.....	18
1.9.2. OBJETIVOS PARTICULARES .....	18
1.9.3. META .....	18
<b><i>CAPITULO II. METODOLOGÍA.....</i></b>	<b>19</b>
<b>2.1. VARIABLES Y METODOLOGÍA .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2. DIMENSIONES DEL BLOQUE.....</b>	<b>21</b>
<b>2.3. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL .....</b>	<b>22</b>
2.3.1. CARACTERIZACIÓN DE LA ARENA .....	22
2.3.1.1. GRANULOMETRÍA DE LA ARENA.....	22
2.3.1.2. DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DE LA ARENA .....	23
2.3.1.3. PESOS UNITARIOS Y PORCENTAJE DE VACÍOS .....	25
2.3.1.4. PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO.....	26
2.3.1.5. PESO VOLUMÉTRICO SECO COMPACTO .....	27
2.3.2. CARACTERIZACIÓN DEL SASCAB .....	28
2.3.2.1. GRANULOMETRÍA .....	28
2.3.2.2. DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA.....	28
2.3.2.3. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS .....	30
2.3.2.4. CONTENIDO DE AGUA POR SECADO DEL MATERIAL .....	30
2.3.2.5. CONDICIÓN DE SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO.....	31
2.3.2.6 PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO Y COMPACTO.....	32
2.3.3. CARACTERIZACIÓN DE LA GRAVILLA .....	34
2.3.3.1. GRANULOMETRÍA .....	34
2.3.3.2. ABSORCIÓN .....	35
2.3.3.3. PESO VOLUMÉTRICO SECO Y COMPACTO .....	35
2.3.4. GRANULOMETRÍA DEL PET .....	37
2.3.5. ELABORACIÓN DE BLOQUES HUECOS .....	38
2.3.6. PRUEBAS A REALIZAR EN LOS BLOQUES .....	39

<b>CAPITULO III. TRABAJO DE CAMPO.....</b>	<b>40</b>
<b>3.1. DIMENSIONES DEL BLOQUE.....</b>	<b>40</b>
<b>3.2. CARACTERIZACION DE MATERIALES .....</b>	<b>40</b>
3.2.1. ARENA.....	40
3.2.2. SASCAB .....	46
3.2.2.1 LÍMITE DE CONSISTENCIA DEL SASCAB .....	48
3.2.2.2. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON LA NORMA ASTM D6276.....	51
3.2.2.3. CONTENIDO DE AGUA POR SECADO DEL MATERIAL DE SASCAB .....	52
3.2.2.4. CONDICIÓN DE SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO DEL SASCAB .....	52
3.2.2.5. PESO VOLUMÉTRICO SUELTO Y COMPACTO .....	53
3.2.2.6. PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO.....	55
3.2.2.6. PESO VOLUMÉTRICO SECO COMPACTO .....	56
3.2.3. GRAVILLA .....	57
3.2.3.1. GRANULOMETRÍA.....	57
3.2.3.2. ABSORCIÓN DE LA GRAVILLA .....	58
3.2.3.3. PESO VOLUMÉTRICO SUELTO Y COMPACTO .....	59
3.2.3.4. PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO.....	61
3.2.3.5. PESO VOLUMÉTRICO SECO COMPACTO .....	62
3.2.4. PET .....	62
<b>3.3. DISEÑO DE LA MEZCLA.....</b>	<b>63</b>
<b>3.4. GENERADORES .....</b>	<b>69</b>
<b>3.5. ELABORACIÓN DE LOS BLOQUES .....</b>	<b>69</b>
<b>CAPITULO IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....</b>	<b>71</b>
<b>4.1. ANÁLISIS DE LA ESTABILIZACIÓN DEL SASCAB.....</b>	<b>71</b>
<b>4.2. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN .....</b>	<b>71</b>
<b>4.3. RESULTADOS DE ABSORCIÓN.....</b>	<b>75</b>
<b>4.4. RESULTADOS DEL PESO DE LOS BLOQUES .....</b>	<b>77</b>
<b>4.5. TRAYECTORIA DE FRACTURA DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN. ....</b>	<b>78</b>
4.5.1. BLOQUES TRIBLOK.....	79
4.5.2. BLOQUES CON 0% DE PET .....	80
4.5.3. BLOQUES CON 5% DE PET .....	81
4.5.4. BLOQUES CON 10% DE PET .....	82
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>85</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>86</b>

***ANEXOS*** ..... ***87***  
***REFERENCIAS*** ..... ***90***



## ÍNDICE TABLAS

Tabla. 1.1. Tabla de clasificación de piezas de acuerdo a los materiales empleados en su fabricación.

Tabla. 1.2. Tabla de resistencia a compresión.

Tabla. 1.3. Tabla de porcentajes de absorción permitidos.

Tabla. 1.4. Resultados de plasticidad, densidad y propiedades mecánicas.

Tabla. 1.5. Porcentajes para suelo-cemento.

Tabla. 1.6. Tabla de proporción de mezcla para la fabricación de bloques.

Tabla. 1.7. Resultados de la prueba a compresión del BCyPET.

Tabla. 2.1. Masa unitaria del agua a varias temperaturas, de la arena.

Tabla 2.2. Masa unitaria del agua a varias temperaturas, del sascab.

Tabla 2.3. Masa unitaria del agua a varias temperaturas, de la gravilla.

Tabla. 3.1. Promedio de la granulometría de la arena.

Tabla. 3.2. Pruebas de la norma ASTM C 128.

Tabla. 3.3. Determinación del peso unitario y el porcentaje de vacíos de la arena.

Tabla. 3.4. Resultados de las pruebas en agregado fino.

Tabla. 3.5. Resultados de la granulometría del sascab.

Tabla. 3.6. Promedio del índice plástico del sascab.

Tabla. 3.7. Determinación de los límites líquido y plástico.

Tabla. 3.8. Resultados de la prueba de estabilización de suelos.

Tabla. 3.9. Resultados de la prueba de contenido de agua por secado.

Tabla. 3.10. Resultados de la prueba de condición de saturado y superficialmente seco.

Tabla. 3.11. Determinación del peso volumétrico suelto.

Tabla. 3.12. Promedio del peso volumétrico seco suelto.

Tabla. 3.13. Peso volumétrico seco compacto.

Tabla. 3.14. Granulometría promedio de la gravilla.

Tabla. 3.15. Determinación de absorción en la gravilla.

Tabla. 3.16. Determinación del peso volumétrico suelto.

Tabla. 3.17. Peso volumétrico seco suelto de la gravilla.

Tabla. 3.18. Peso volumétrico seco compacto de la gravilla.

Tabla. 3.19. Granulometría del triturado de PET.

Tabla. 3.20. Cantidades de los materiales, proporción 1:4:1:3.

Tabla. 3.21. Cantidades de los materiales, proporción 1:3:2:3.

Tabla. 3.22. Tabla de resultados de absorción, proporción 1:3:2:3.

Tabla.3.23. Resultados de la resistencia a compresión, proporción 1:3:2:3.

Tabla. 3.24. Resultados de absorción, proporción 1:4:1:3.

Tabla.3.25. Resultados de resistencia a compresión, proporción 1:4:1:3.

Tabla. 3.26. Eficiencia de ambas proporciones.

Tabla. 3.27. Generadores que determinan la cantidad de material a utilizar.

Tabla. 4.1. Resultados de la prueba de resistencia a compresión.

Tabla. 4.2. Absorción de los bloques.

Tabla. 4.3. Resistencia a compresión real.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1. Distribución de parques de tecnología de reciclaje LYRBA.

Fig. 1.2. Clasificación ecológica de la península de Yucatán.

Fig. 1.3. SEM del residuo de la fibra celulosa.

Fig. 1.4. SEM del ladrillo cocido sin residuo de papel reciclado.

Fig. 1.5. SEM del ladrillo cocido con 30% de residuo de papel reciclado.

Fig. 1.6. Simbología de clasificación de suelos.

Fig.1.7. Resistencia final de los bloques.

Fig. 2.1. Secuencia experimental.

Fig. 2.2. Estándar para dimensiones del bloque a realizar.

Fig.2.3. Obtención de los materiales del banco Juan Sarabia Km. 20.

Fig. 2.4. Granulometría de la arena.

Fig. 2.5. Prueba del picnómetro.

Fig. 2.6. Peso volumétrico del sascab.

Fig. 2.7. Granulometría del sascab.

Fig. 2.8. Determinación del límite líquido.

Fig. 2.9. Calibración del PH-meter.

Fig. 2.10. Prueba de la condición de saturado y superficialmente seco.

Fig. 2.11. Peso volumétrico seco compacto del sascab.

Fig. 2.12. Granulometría de la gravilla.

Fig. 2.13. Peso volumétrico seco compacto de la gravilla.

Fig. 2.14. Granulometría del agregado fino de PET.

Fig. 2.15. Mezcla de los materiales.

Fig. 2.16. Maquina vibro compactadora marca vibrok utilizada en la elaboración de bloques.

Fig. 2.17. Bloque en prensa con manómetro digital ADMET GB2.

Fig.3.1.Homogenización y cuarteo de la arena.

Fig.3.2. Determinación de la muestra, paso de la muestra por los tamices y granulometría de la arena.

Fig. 3.3. Grafica de la granulometría de la arena.

Fig. 3.4. Prueba de densidad con el picnómetro.

Fig. 3.5. Prueba de saturado y superficialmente seco.

Fig. 3.6. Determinacion del peso volumetrico.

Fig. 3.7. Cuarteo del material y determinación de la muestra.

Fig. 3.8. Prueba de granulometría.

Fig. 3.9. Clasificación de suelos.

Fig. 3.10. Colocación, ranurado y cerrado del material en la copa de Casagrande.

Fig. 3.11. Material en forma de cilindros de 3 mm y material secado en horno.

Fig. 3.12. Medición del pH con el HI 2211 Ph/ORP Meter del sascab.

Fig. 3.13. Condición de saturado y superficialmente seco del sascab.

Fig. 3.14. Llenado del recipiente con sascab.

Fig. 3.15. Compactación del material con varillado.

Fig. 3.16. Granulometría de la gravilla.

Fig. 3.17. Grafica granulometría de la gravilla.

Fig. 3.18. Determinación de la muestra de gravilla y colocación de las muestras en el horno.

Fig. 3.19. Enrasado del material y registro del peso de la gravilla.

Fig. 3.20. Compactado de la gravilla con varillado.

Fig. 3.21. Cuarteo, cribado y granulometría del PET.

Fig. 3.22. Mezcla de los materiales y elaboración de cubos con sus porcentajes de PET.

Fig. 3.23. Tabla de valores máximos de absorción inicial y absorción total de agua en 24 horas.

Fig. 3.24. Determinación de la absorción total. Fuente: NMX-C-037-ONNCCE-2013.

Fig. 3.25. Muestras de cubos saturados en agua.

Fig. 3.26. Prueba a compresión de la proporción 1:3:2:3.

Fig. 3.27. Prueba a compresión de la proporción 1:4:1:3.

Fig. 3.28. Mezcla, empaclado y transporte de los materiales.

Fig. 3.29. Mezcla de los materiales con los elementos faltantes del cemento y el agua.

Fig. 3.30. Vibro compactado para la elaboración de los bloques.

Fig.4.1. Resistencia a compresión de los bloques.

Fig. 4.2. Colocación de las placas para aplicación de la prueba de compresión.

Fig.4.3. Porcentajes de absorción en los bloques.

Fig. 4.4. Registro del peso de los bloques.

Fig. 4.5. Fallas en Bloques Triblok.

Fig. 4.6. Fisuras de los bloques con 0% de triturado fino de PET.

Fig. 4.7. Fisuras de los bloques con 5% de triturado fino de PET.

Fig. 4.8. Fisuras de los bloques con 10% de triturado fino de PET.

Fig. 4.9. Fisuras de los bloques con 15% de triturado fino de PET.

## RESUMEN

Desde la creación del PET (tereftalato de polietileno, en adelante PET) en el año de 1941, la aceptación de este material aumento debido a sus ventajas y al bajo costo que este proporciona, incrementando el consumo. Sin embargo, la cultura del reciclaje no está generalizada; el porcentaje es bajo en comparación a las cantidades consumidas. Esto se ha convertido en una problemática mundial debido a la alta contaminación generada.

En esta investigación se diseñó una mezcla a base de cemento, arena, sascab y triturado fino de PET, para la elaboración de bloques huecos como alternativa para la reutilización del PET, reduciendo la contaminación, además de disminuir los costos al utilizar suelo de la región conocido como sascab.

La metodología consistió en un diseño de mezcla donde se manejaron porcentajes del 5%, 10% y 15% de agregado fino de PET, como sustitución de los agregados finos. Se aplicaron las pruebas de resistencia a compresión y absorción marcadas en las normas mexicanas (NMX) para la elaboración de bloques estructurales.

Los resultados demostraron que los bloques elaborados junto con los bloques de muestra, no cumplen con la norma de uso estructural. Sin embargo, se demostró que la utilización de sascab mejora la resistencia a compresión con  $52.88 \text{ kg/cm}^2$  en comparación con el bloque de muestra el cual obtuvo una resistencia de  $49.06 \text{ kg/cm}^2$ . Por lo tanto los bloques entraron en la línea de uso no estructural al superar los  $35 \text{ kg/cm}^2$  que establece la norma NMX-C-441-2005.

## ABSTRACT

Since the creation of PET (polyethylene terephthalate, hereinafter PET) in 1941, the acceptance of this material has increased due to its advantages and the low cost that this provides, increasing its consumption. However, the culture of recycling is not generalized; the percentage is low in comparison to the quantities consumed. This has become a global problem for the high pollution generated.

In this research, a mixture based on cement, sand, sascab and fine PET grinding was designed, for the development of hollow blocks as an alternative for the reuse of PET, the reduction to pollution and the reduction of costs when using land of the region such as sascab.

The methodology consisted of a mixture design where percentages of 5%, 10% and 15% of PET fine aggregate were handled as substitution of fine aggregates. The tests of resistance to compression and absorption were applied as established in the Mexican Norms (NMX) for the elaboration of structural blocks.

The results showed that the blocks made together with the blocks of the region from Chetumal, Quintana Roo, did not comply with the standard of structural use. However, it was demonstrated that the use of sascab improves the compressive strength with  $52.88 \text{ kg/cm}^2$  in comparison with the standard block of the region which obtained a resistance of  $49.06 \text{ kg/cm}^2$ . Therefore, the blocks entered the line of non-structural use when exceeding the  $35 \text{ kg/cm}^2$  established by the norm NMX-C-441-2005.

## **INTRODUCCIÓN**

En la rama de la construcción los investigadores y científicos se han preocupado por reciclar el PET para crear nuevos materiales con menor costo, con el propósito de que se facilite la adquisición de materiales para la construcción. Solo en el estado de Quintana Roo la población presenta un índice de pobreza del 35.9%, dentro del cual el 18.4% es por motivos de calidad y espacios en la vivienda, según lo marca la CONEVAL en el año del 2014.

Debido a la situación de pobreza, a los bajos salarios y a los altos costos de los materiales de la construcción, dificultan la mejora en la calidad de vivienda de los habitantes. Por lo tanto en esta investigación se propuso la elaboración de un bloque hueco con tierra de la región (Sascab), cemento, gravilla, arena y triturado fino de PET, el cual pueda contribuir a la eliminación de residuos de PET y a una disminución del costo debido a la sustitución de arena por sascab y de esta forma ayudar en la mejora de calidad de vivienda.

El documento está estructurado en los siguientes capítulos para facilitar la comprensión, el primer capítulo abarca los antecedentes, objetivos, metas e hipótesis que dirigieron la investigación, el segundo capítulo corresponde a la fundamentación teórica del tema y a las pruebas que se necesitan realizar, el tercer capítulo corresponde al trabajo de campo que son las pruebas realizadas que se marcaron en el capítulo dos. El capítulo cuatro corresponde al análisis de resultados, finalizando con las conclusiones y recomendaciones.



## CAPITULO I. FUNDAMENTOS

### 1.1. ANTECEDENTES

#### 1.1.1. PET

Desde que el PET fue creado por científicos europeos en el año de 1941, se generó un cambio en los envases debido a las ventajas que estos presentaban a la industria: es barato, liviano, impermeable, irrompible y reciclable, entre otras cualidades. Sin embargo el consumo de este material en México es de 7 kilogramos por persona al año, generando más de 780 mil toneladas anuales y va en aumento. La problemática es que no se recicla ni el 20 por ciento de lo generado además del tiempo que tarda en degradarse (Escalón, 2016).

Debido a que el PET es un material que puede reciclarse adquiere un valor, se pueden producir nuevos productos como bolsas de supermercado, nuevas botellas, ropa, zapatos y artículos deportivos, etc. (Informador, 2015). En base al gran problema para reciclar se han generado plantas recicladoras en el país. Actualmente existe una planta recicladora en Playa del Carmen, Quintana Roo, la empresa TAGO “Recycling Park Lyrba” (Fig. 1.1), situada en el Km. 273 de la carretera Federal Chetumal-Cancún, cuenta con una superficie de 3,600 m<sup>2</sup> y realizan actividades como tecnología para el molido, lavado y cristalización de PET, molido y lavado de polietilenos entre otras.



Fig. 1.1. Distribución de parques de tecnología de reciclaje LYRBA. Fuente: <http://www.lyrba.com.mx/es/infraestructura/mapa/index.html> Marzo 2016.

### 1.1.2. EL PET EN LA CONSTRUCCIÓN.

A lo largo del tiempo se han buscado soluciones para reciclar el PET en el campo de la construcción, implementándolos en sistemas o materiales constructivos para generarle un nuevo ciclo de vida. La empresa nacional Tabiques y Estructuras Reciclables fue creada en el año 2000, con el objetivo de reutilizar las botellas PET para crear un tabique (Expok, 2011).

El creador Mariano Núñez menciona que estos tabiques pesan 60 gramos, ahorrando 80 por ciento de una estructura construida a base de ladrillos comunes, utilizando así cimientos más esbeltos, en la actualidad ya no se venden por pieza sino por módulos que van de 1.22 metros por 2.44 metros, o las dimensiones que el cliente especifique. Tiene ventajas antisísmicas, térmicas, acústicas, además de la rapidez con que se construye debido a los módulos (Expok, 2011).

Hay otros procesos constructivos que implementan la utilización del PET sin someterlo algún proceso o cambio, como el Dr. José Roberto García Chávez especialista en arquitectura bioclimática y sustentable de la UAM (Universidad Autónoma de México), encontró que el PET tiene resistencia estructural, resistencia térmica y aislamiento acústico, razones por las cuales se decidió utilizar el material. El método consiste en la unión de botellas con alambre, utilizando un aplanado con cemento-arena para evitar que se convierta en un material combustible, además el aire de las botellas lo convierte en un aislante térmico. (Nucamendi, 2011)

Investigadores han buscado nuevas aplicaciones al PET triturado, hay literatura que muestra la utilización de PET como adición o sustitución en concretos, morteros, ladrillos, tabiques entre otros. Sin embargo las investigaciones no se basan solo en la reutilización del PET sino también de otros desperdicios como el papel y otros contaminantes, buscando así la reutilización y la mejora de los materiales.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. DELIMITACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO**

El objeto de estudio de esta investigación es la elaboración de un bloque hueco con diferentes porcentajes de triturado fino de PET con una proporción 1:3:2:3 de cemento, arena, sascab y gravilla, demostrando la viabilidad de elaborar bloques con material de la región de Chetumal, para comprobar si cumplen con la resistencia marcada en la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012, comparando los resultados entre los bloques testigos a realizar.

### **1.2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La problemática de adquirir o de elaborar una vivienda es sumamente difícil debido a los altos costos de los materiales para ejecutar la construcción, además de los salarios bajos de la mayoría de la población convirtiéndose en un punto rojo de preocupación. Gran cantidad de mexicanos que no tienen acceso a la vivienda y aunque quisieran construirla por etapas y con sus recursos, los costos de los materiales son elevados, disminuyendo así la probabilidad de tener una vivienda digna.

Se busca la manera de crear materiales menos costosos al utilizar tierra de la región, la cual tiene un costo más bajo que la arena, además de reutilizar PET para disminuir la contaminación.

## **1.3. MARCO TEÓRICO**

### **1.3.1. EL SUELO DE LA REGION.**

En la cultura maya extraían piedras blancas las cuales trituraban hasta hacerlas polvo, el cual mezclaban con agua para formar una pasta que utilizaban para pavimentar el piso y como aglutinante para unir los bloques de piedra o rellenar huecos en las paredes, ese material era conocido como sascab (Salinas, 2002).

El suelo de la península de Yucatán se compone en gran parte por caliza, la cual es formada por la solución y precipitación de carbonato de calcio que se va cementando junto con restos de conchas (Fig. 1.2). Dentro de este tipo de suelo también existen calizas blandas conocidas por su nombre maya como sascab que significa tierra blanca y el cual predomina en el estado de Quintana Roo, este material corresponde a rocas sin consolidar, el espesor de esta capa puede

variar entre centímetros a varios metros, la consistencia obtenida es debido a la cristalización de aragonita a calcita que es un proceso necesario para la consolidación de una roca. (Durán García & Méndez González, 2010)

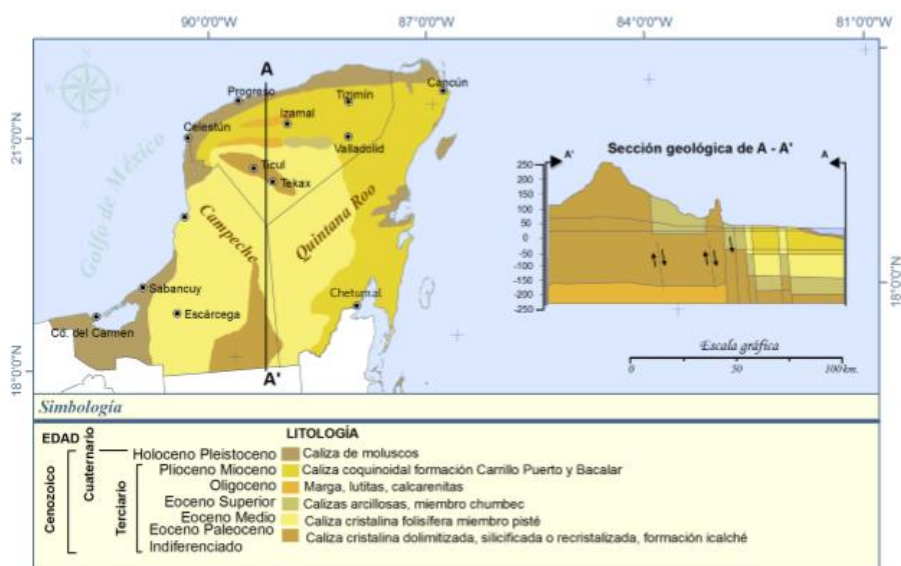


Fig. 1.2. Clasificación ecológica de la península de Yucatán. Fuente: Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán, (Durán García & Méndez González, 2010).

### 1.3.2. ¿QUÉ ES UN BLOQUE?

Es una pieza para uso estructural de forma prismática obtenida a base de moldeo del concreto o de otros materiales, este puede ser macizo o hueco. Existen diferentes tipos de materiales a utilizar para la elaboración de piezas (Tabla 1.1). Esto está determinado en la norma mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2012.

Tabla. 1.1. Tabla de clasificación de piezas de acuerdo a los materiales empleados en su fabricación. Fuente: NMX-C-404-ONNCCE-2012.

Tipo de pieza	Materiales	Forma
Bloque	Grava-Cemento Arena-Cemento Barro extruido Barro recocido Silico calcáreo Otros	Rectangular Rectangular Rectangular Rectangular Rectangular Otras
Tabique (Ladrillo) Macizo Hueco Multiperforado	Barro recocido Barro extruido Otros (concreto)	Rectangular Rectangular Rectangular Otras
Tabicón	Grava-Cemento Arena-Cemento Tepojal-Cemento Otros	Rectangular Rectangular Rectangular Otras

Dentro de los bloques existen dos tipos de piezas, la pieza maciza es donde las celdas o espacios vacíos, no son mayor al 25% de su área total y en la cual las paredes exteriores no tienen un espesor menor a 20 mm. Mientras que una pieza hueca es aquella donde el área de la celda es mayor al 25% del área total pero menor o igual a 50% y sus paredes no tienen un espesor menor a 15 mm.

Las principales pruebas a realizar en un bloque hueco son las de resistencia a compresión, determinación de la absorción y dimensiones, las cuales están determinadas en la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012. La norma determina las resistencias mínimas a compresión (Tabla 1.2) y los porcentajes máximos de absorción (Tabla 1.3)

Tabla. 1.2. Tabla de resistencia a compresión. Fuente: NMX-C-404-ONNCCE-2012.

Tipo de pieza	$f_p^*$ kg/cm <sup>2</sup>
Bloque de concreto	60
Tabicón	100
Tabique macizo de arcilla artesanal	60
Tabique extruido o prensado (hueco vertical)	100
Tabique extruido multiperforado	100

Tabla. 1.3. Tabla de porcentajes de absorción permitidos. Fuente: NMX-C-404-ONNCCE-2012.

Tipo de material	Absorción inicial para muros expuestos al exterior g / (cm <sup>2</sup> ×min <sup>½</sup> )	Absorción inicial para muros interiores o con recubrimiento g / (cm <sup>2</sup> ×min <sup>½</sup> )	Absorción total en 24 h en porcentaje
Concreto	5	7.5	12
Arcilla artesanal	-	-	23
Arcilla extruida o prensada	5	7.5	19

### 1.3.3. TIPOS DE MURO.

Un muro es un elemento que permite dividir y delimitar un espacio para protegerlo del exterior o para separar los espacios en el interior de una vivienda. Existen 3 tipos de muros, de carga, divisorios y decorativos.

- Un muro de carga conocido como muro portante también es aquel que tiene la función de soportar otros elementos como trabes, viguetas, arcos, bóvedas o la cubierta. Las piezas utilizadas para la elaboración de este tipo de muros son realizadas en base a la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012.
- Mientras de un muro divisorio solo delimita una zona o lugar y puede tener características aislantes como térmicas o acústicas, pero no tienen ninguna función estructural o de carga. Las piezas utilizadas para la elaboración de este tipo de muros son realizadas en base a la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013.
- La función del muro decorativo es estética aunque en ocasiones puede ir ligada con funciones del muro de carga o divisorio.

### 1.3.4. PET.

El PET o tereftalato de polietileno es una materia plástica derivada del petróleo, descubierta por los científicos británicos whinfield y dickson en el año de 1941, lo patentaron como polimero para la fabricación de fibras, sus primeros usos fueron como fibras en textiles debido a sus propiedades y ventajas como que es liviano, bajo costo, esterelizable, excelentes propiedades mecánicas es apto para elaborar frascos, botellas, laminas, piezas, etc. También tiene la ventaja

de que puede ser reutilizado, en el ámbito de la construcción investigadores buscan la manera de reutilizarlo para modificar propiedades en concretos, morteros o para fabricar nuevos elementos constructivos. Las propiedades dependen de la forma y tamaño de las partículas de PET a utilizar.

#### 1.4. REVISION DEL ESTADO DEL ARTE

A continuación se muestra la información obtenida de investigaciones previas como artículos de revista y tesis en referencia al tema.

##### 1.4.1. INVESTIGACIONES GENERALES

##### 1.4.1.1. UTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE PULPA KRAFT EN LADRILLOS DE ARCILLA.

El objetivo de esta investigación es ver el potencial que tiene el usar pulpa kraft que es considerado un desecho que es generado en la fase primaria dentro de la industria del papel, estas fibras celulósicas (Fig. 1.3) serán adicionadas a la arcilla para la elaboración de ladrillos y así observar que propiedades adquiere. La pulpa kraft es comúnmente utilizada dentro de la agricultura o para la elaboración de los módulos de cartón para huevos. El motivo que alentó a esta investigación es primeramente las cercanías entre la fábrica de pulpa kraft y las instalaciones para la fabricación de ladrillos. (Demir, Baspinar, & Orhan, 2005).

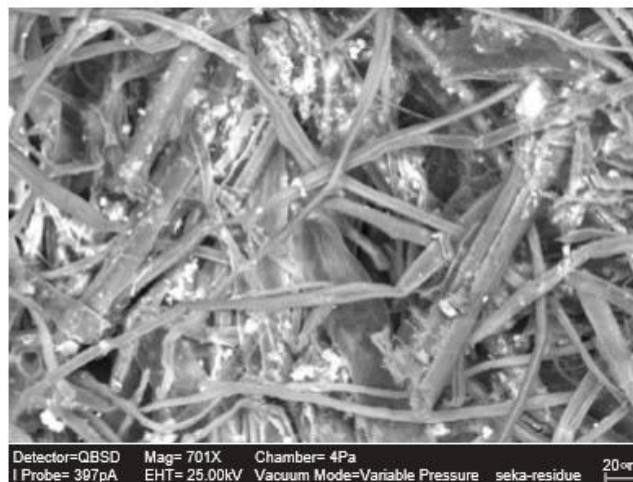


Fig. 1.3. SEM del residuo de la fibra celulosa. Fuente: (Demir, Baspinar, & Orhan, 2005).

Se buscó la forma de aumentar la capacidad de aislamiento térmico mediante la generación de poros, utilizando las siguientes cantidades de residuo (0%, 2,5%, 5% y 10% en peso), las muestras se calcinaron a 900°C. Se investigaron los efectos sobre deformación, plasticidad, densidad y propiedades mecánicas (Tabla 1.4), entre 2.5 a 5% fueron los porcentajes más adecuados para la formación de poros y con propiedades mecánicas aceptables (Demir, Baspinar, & Orhan, 2005).

Plasticity and ignition loss values of the test samples					Density and mechanical properties of fired samples (900°C firing temperature)				
	Sample series				Mechanical properties	Sample series			
	A	B	C	D		A	B	C	D
Pulp residue content (wt%)	0	2.5	5	10	Apparent porosity (%)	30	35	41	52
$h_{24}$ (plasticity water %) (according to Pefferkorn test)	30	35	38	40	Bulk density (gr/cm <sup>3</sup> )	1.82	1.49	1.43	1.40
Loss of ignition at 900°C firing temperature	8.9	13.6	15.75	18.25	Apparent density (gr/cm <sup>3</sup> )	2.42	1.96	1.85	1.80
Drying shrinkage (%)	4.4	4.6	4.6	5.2	Water absorption (%)	14.46	23.47	28.66	37.14
Dry bending strength (Mpa)	3.1	3.7	4.1	3.9	Compressive strength <sup>a</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	155	128	112	95

<sup>a</sup>TS 705: min compressive strength is 50 kg/cm<sup>2</sup> [13].

Tabla. 1.4. Resultados de plasticidad, densidad y propiedades mecánicas. Fuente: (Demir, Baspinar, & Orhan, 2005).

La naturaleza fibrosa no crea ningún problema de extrusión sin embargo aumento el contenido de agua. Llegando a la conclusión de que es aceptable la utilización de residuos de pulpa kraft como un agente orgánico para formación de poros siendo utilizado de manera ambientalmente segura. En adiciones del 5% se incrementó ligeramente el encogimiento por secado, mientras que la adición del 10% ya no es considerada como adecuada debido al aumento de su contracción por secado. El aumento de adición disminuye la resistencia a compresión sin embargo sigue cumpliendo con los estándares de 50 kg/cm<sup>2</sup> (Demir, Baspinar, & Orhan, 2005).

#### 1.4.1.2. EL USO DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN MEZCLA DE CONCRETO COMO REEMPLAZO DE AGREGADO.

Este estudio incluyó a 86 experimentos y 254 pruebas para determinar la eficiencia de reutilización de residuos de plástico en la producción de hormigón, se utilizaron los siguientes porcentajes de sustitución parcial de arena 0%, 10%, 15% y 20% (Ismail & Al-Hashmi, 2007).



Los resultados demostraron la detención de la propagación de micro fisuras mediante la introducción de residuos de plástico en las mezclas de concreto. Este estudio asegura que la reutilización de residuos de plástico como un agregado de sustitución de arena en el concreto es una buena forma de reducir el costo de los materiales y resolver algunos de los problemas de contaminación que plantean los plásticos (Ismail & Al-Hashmi, 2007).

#### 1.4.1.3. EL USO DE PLÁSTICO RECICLADO EN HORMIGÓN.

Es una revisión la cual aborda el tema de generación de desechos en los procesos de fabricación y la preocupación de buscar la manera de reutilizarlos debido al escaso espacio para vertederos, además del largo tiempo que algunos desechos ocupan para su degradación, ayudando así a hacer conciencia sobre el medio ambiente, y de que la reutilización es la mejor manera de eliminarlos (Siddique, Khatib, & Kaur, 2008).

En la realización del hormigón se utilizaron porcentajes del 0%, 10%, 30% y 50% de agregado de plástico, con un tamaño máximo del agregado de 13 mm. Y con las siguientes relaciones agua/cemento 0.28, 0.40 y 0.50. Los resultados de esta investigación mencionan que la trabajabilidad del hormigón mejora en todos los casos, además de que el revenimiento aumenta conforme a mayor porcentaje de plástico agregado. Muestra la evolución de los materiales, como la clasificación, limitaciones y posible mejora para el uso en edificios. Abordan algunas técnicas de reciclaje, como la técnica de disolución del polipropileno, tecnología de radiación para el reciclaje, entre otras (Siddique, Khatib, & Kaur, 2008).

#### 1.4.1.4. EL USO DE RESIDUOS DE PROCESAMIENTO DE PAPEL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE LADRILLO POROSO CON UNA REDUCCIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.

Esta investigación consistió en la elaboración de ladrillo a base de los residuos del procesamiento de papel con el objetivo de conseguir un ladrillo poroso, se realizó la caracterización de materiales con los siguientes métodos, SEM-EDS, XRD, XRF Y TG-DTA. Se utilizaron porcentajes de adición del 0%, 10%, 20% y 30%, los resultados obtenidos fueron una reducción de la conductividad térmica, la resistencia a compresión va de 160 kg/cm<sup>2</sup> a 51 kg/cm<sup>2</sup> dependiendo del porcentaje agregado (Sutcu & Akkurt, 2009).

La densidad disminuye en  $1.28 \text{ g/cm}^3$ , la conductividad térmica del ladrillo poroso (Fig. 1.5) disminuyo más del 50% en comparación con el ladrillo local (Fig. 1.4), llega a la conclusión que el convertir el ladrillo en un elemento perforado puede reducir su conductividad térmica a valores muy bajos (Sutcu & Akkurt, 2009).



Fig. 1.4. SEM del ladrillo cocido sin residuo de papel reciclado. Fuente: (Sutcu & Akkurt, 2009).

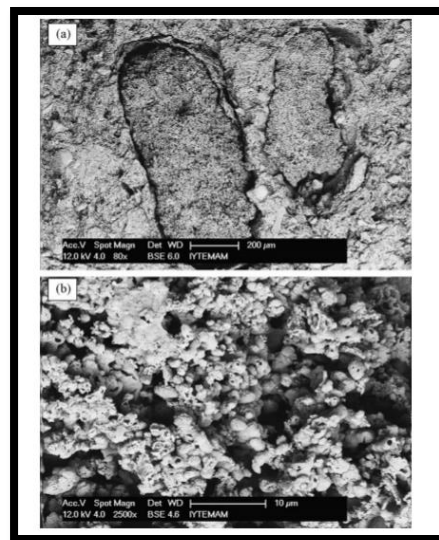


Fig. 1.5. SEM del ladrillo cocido con 30% de residuo de papel reciclado. Fuente: (Sutcu & Akkurt, 2009).

#### 1.4.1.5. CONTENIDO Y TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE PET.

En una investigación realizada por Albano y otros, se determinó que influye tanto la cantidad utilizada de PET como el tamaño de la partícula, fueron utilizados porcentajes del 10% y 20% con una relación agua/cemento de 0.50 y 0.60, se llegó a la misma conclusión al igual que otros artículos, el aumentar el porcentaje de PET y el tamaño de la partícula influyen en la disminución de resistencia a compresión, tracción y módulo de elasticidad (Albano, Camacho, Hernández, Matheus, & Gutiérrez, 2009).

Se determinó en otro estudio, que el uso de residuos PET mejora el aislamiento térmico en el concreto debido a que se vuelve poroso, sin embargo el aumento del porcentaje no solo lo vuelve más poroso sino que disminuye su resistencia a compresión. La influencia no solo es en la cantidad sino en el tamaño de partícula entre mayor sea la partícula su porosidad aumenta y su resistencia disminuye (Yesilata, Isiker, & Turgut, 2009).

Existe otra investigación que analiza las fibras de PET en el hormigón, el objetivo de esta investigación es explorar la posibilidad de reciclar las fibras del PET para tratar de mejorar la ductilidad del hormigón, utilizaron dos tipos de fibras laminares y fibras circulares, realizaron especímenes de 100 mm x 100 mm x 400mm. Los mejores resultados obtenidos fue las fibras circulares con una dosificación del 0.75%, su ductilidad mejoro pero concluye también que entre mayor sea el porcentaje de PET utilizado mayor será la disminución de su resistencia a compresión (Foti, 2011). Otra investigación que realizo pruebas en el hormigón, determino que el utilizar el 15% de PET como sustitución afecta a sus propiedades, proponiendo no excederse del 15% de PET (Rahmania, Dehestani, Beygia, Allahyaria, & Nikbin, 2013).

El deterioro de las propiedades del hormigón se intensifican al aumentar el contenido de PET, esto se demostró en un estudio donde las diferencias del tamaño, la forma y la textura del PET modifican la relación agua/cemento, cambiando su comportamiento mecánico (Saikia & De Brito, 2014).

## 1.4.2. INVESTIGACIONES LOCALES

A continuación se muestran investigaciones locales relacionadas con el tema de investigación, las cuales fueron realizadas en el Instituto Tecnológico de Chetumal:

## 1.4.2.1. TABICONES A BASE DE SUELO CALIZO NO CONSOLIDADO Y CEMENTO PORTLAND PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS EN VIVIENDAS.

Para la elaboración de los tabicones se realizaron pruebas de 15 bancos de sascab de la región, con dos variantes de porcentaje de cemento 6% y 10% (Tabla 1.5), dentro de las pruebas realizadas a los tabicones se evaluó la absorción, resistencia a compresión y el costo de elaboración en un metro cuadrado de muro, a continuación se muestran los bancos y tabicones que obtuvieron mejores resultados en las pruebas (Chable, 2011).

Los bancos con mejor resultados a compresión además de cumplir con la prueba de absorción son Kuchumatan, Morocoy y Huay Pix. Se realizó una caracterización del sascab de los diferentes bancos en base a el S.U.C.S. (sistema unificado de clasificación de suelos, en adelante S.U.C.S.) el cual determina los porcentajes de cemento que se pueden utilizar en base al tipo de suelo, permitiendo así su estabilización. A continuación se muestran los bancos de sascab en Chetumal con los mejores resultados obtenidos además de su clasificación según el S.U.C.S. (Fig. 1.6) (Chable, 2011) :

- **Kuchumatan**, tipo de suelo SW, con 10% de cemento, resistencia 100 kg/cm<sup>2</sup>.
- **Morocoy**, tipo de suelo SW-SC, con 10% de cemento, resistencia 102 kg/cm<sup>2</sup>.
- **Huay Pix**, tipo de suelo SW-SC, con 10% de cemento, resistencia 103 kg/cm<sup>2</sup>.

	GRUPOS						SUB-GRUPOS			
SIMBOLO	G	S	M	C	O	Pt	H	L	W	P
DESCRIPCION	GRAVA	ARENA	LIMO	ARCILLA	LIMO O ARCILLA ORGANICA	SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS	ALTA PLASTICIDAD	BAJA PLASTICIDAD	BIEN GRADUADO	MAL GRADUADO

Fig. 1.6. Simbología de clasificación de suelos. Fuente: (Chable, 2011).

Tabla. 1.5. Porcentajes para suelo-cemento. Fuente: Portland Cement Association.

GRUPO DE SUELO SEGÚN LA AASHO (SUCS)	PORCIENTO DE CEMENTO REQUERIDO EN PESO		CONTENIDO DE CEMENTO ESTIMADO PARA LA PRUEBA DE COMPACTACION	CONTENIDO DE CEMENTO PARA PRUEBA DE HUMEDAD-SECADO % EN PESO
A-1-a (GW,GP,SW,SP)	3	5	5	3-4-5-6-7
A-1-b (SW,SP,GM,SM,GP)	5	8	6	4-6-8
A-2 (GM,SM,GC,SC)	5	9	7	5-7-9
A-3 (SP,SW)	7	11	9	7-9-11
A-4 (ML,OL,CL,SM,SC)	7	12	10	8-10-12
A-5 (OH,MH,ML,OL)	8	13	10	8-10-12
A-6	9	15	12	10-12-14
A-7	10	16	13	11-13-15

Fuente: Portland Cement Association.

#### 1.4.2.2. SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA MUROS: BLOQUES A BASE DE CONCRETO Y BOTELLAS DE PET DE POST-CONSUMO.

Realizo el diseño de un bloque con botellas de PET con ensamble machihembrado (Tabla 1.6), iniciando con un modelo de 8 botellas (20 x 40 x 25 cm. 25 kg) modificando el diseño debido al peso, las dimensiones del segundo prototipo fueron las siguientes, 11 x 40 x 25 cm. Disminuyendo el peso a 13 kg (Medina, 2011). Se cumplió con la resistencia a compresión, obteniendo una resistencia promedio de 86.36 kg/cm<sup>2</sup> (Tabla 1.7).

Tabla. 1.6. Tabla de proporción de mezcla para la fabricación de bloques. Fuente: (Medina, 2011).

Material	Cantidad
Agregado fino	7.00 litros
Agregado grueso	3.50 litros
Agua	2.40 litros
Cemento	1.60 litros

Tabla. 1.7. Resultados de la prueba a compresión del BCyPET. Fuente: (Medina, 2011).

No muestra	Fabricante	Edad (días)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Peso (kg)	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
13	BCyPET	9	40.20	11.25	25.20	18.500	41,600	452.25	91.98
14	BCyPET	8	40.20	11.30	25.20	19.100	47,400	454.26	104.35
15	BCyPET	7	40.20	11.30	25.30	18.800	28,500	454.26	62.74
<b>Promedio</b>		<b>8</b>	<b>40.20</b>	<b>11.28</b>	<b>25.23</b>	<b>18.800</b>	<b>39,166.67</b>	<b>453.59</b>	<b>86.36</b>

#### 1.4.2.3. EVALUACIÓN DE LAS RESISTENCIAS MECÁNICAS (COMPRESIÓN Y CORTANTE) DE UN MORTERO PARA APLANADOS CON LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO FINO DE PET.

En el cual realiza un mortero con una relación a/c de 0.49 y una proporción de una parte de cemento por 2.57 partes de agregado fino de PET, con sustituciones de 10%, 15% y 30%. Dando como resultado que entre mayor cantidad de PET mayor porosidad y menor peso. Considerando optimo el mortero con el 10% de sustitución de agregado fino de PET, convirtiéndose en una mezcla trabajable y ligera, tuvo una buena adherencia, soportando un esfuerzo cortante de 8.39 kg/cm<sup>2</sup>. Cumpliendo también con la resistencia mínima a compresión según lo establecido en la ONNCCE, que es de 40 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días y de 65 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, la probeta de 10% de PET tuvo una resistencia final de 131.87 kg/cm<sup>2</sup>. Finalizando que su porosidad ayudaría a una mejor adherencia con el acabado final (González, 2013).

#### 1.4.2.4. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE BLOQUES HUECOS DE CONCRETO FABRICADOS CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE PET TRITURADO.

Realizo muestras testigo con sustitución del 5%, 10% y 15% de PET, en bloques huecos de 15 x 20 x 40 cm según la NMX-C-441-ONNCCE-2005. Evaluó la compresión los 7, 14 y 28 días de cada diseño, además de la absorción, incluyendo el block testigo para tener una comparativa, sin embargo en esta investigación no se realizó una caracterización de materiales, ni especificaciones del agregado de PET a utilizar. A continuación se muestran los resultados finales de las resistencias de cada bloque en los diferentes días (Fig. 1.7) (Fernández, 2015).

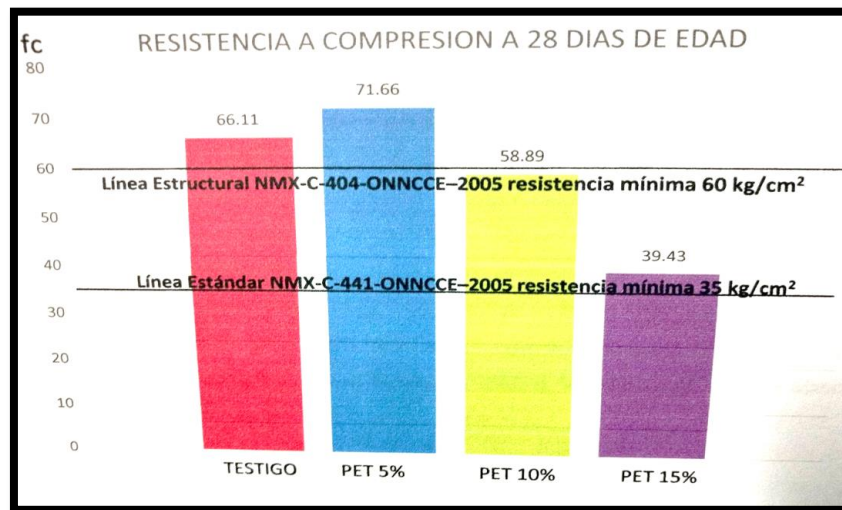


Fig.1.7.Resistencia final de los bloques. Fuente: (Fernández, 2015)

El triturado de PET se ha utilizado en concretos y morteros generando materiales más porosos y trabajables al aumentar su revenimiento, además de que disminuye su resistencia a compresión con forme el aumento de triturado de PET. Se concluye que un material poroso mejora la conductividad térmica.

### 1.5. JUSTIFICACIÓN

La proliferación de productos PET en el mundo es preocupante debido a la alta contaminación que están generando y a su lenta descomposición. Dentro del ámbito de la construcción se han buscado soluciones para la utilización de estos desechos, implementando este tipo de material en sistemas constructivos como la elaboración de bloques, ladrillos, tabicones, etc. Se han realizado análisis de bloques huecos adicionados con otros desechos además del PET, como desechos industriales, papel, kraft paper, etc.

La problemática de los altos costos de los materiales de la construcción, crea la necesidad de buscar materiales que minimicen los costos, por lo tanto se propuso crear bloques huecos con sascab que es tierra de la región con porcentajes de agregado fino de PET, para las personas de bajos recursos y de esta forma mejorar su economía al permitirle obtener bloques que cumplan con la normativa NMX-C-404-ONNCCE-2012, sean económicos y contribuyan a la reutilización de residuos, disminuyendo la contaminación.

Además la aplicación de este tipo de material constructivo puede ser una ventaja para combatir la carencia y calidad de espacios de viviendas en Quintana Roo, ya que existe aún un porcentaje considerable de personas con estas carencias en el estado, como lo marca CONEVAL (Comisión Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, en adelante CONEVAL), el 35.9% de la población está en pobreza y tienen 2.3 carencias en promedio, dentro de esos indicadores se encuentra la carencia de acceso a calidad y espacios en la vivienda correspondiente al 18.4% ( 283 mil personas), por lo tanto se deben de buscar soluciones que ayuden agilizar la situación (Coneval, 2014)<sup>1</sup>.

## **1.6. HIPÓTESIS**

Los bloques huecos realizados con cemento, arena, sascab, gravilla y triturado fino de PET del 5 al 15% con una relación 1:3:2:3, cumplirán con los estándares establecidos en la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012.

## **1.7. PREGUNTAS DE INVESTIGACION**

- ▶ ¿Qué resistencias a compresión se obtendrán de los bloques con triturado fino de PET de entre 5% y 15% con una relación 1:3:2:3 de cemento, arena, sascab y gravilla?
- ▶ ¿Qué bloque obtendrá la resistencia más alta a compresión?
- ▶ ¿Qué bloque obtendrá el mejor desempeño en absorción?

## **1.8. VIABILIDAD**

- Se cuenta con el equipo necesario en el laboratorio del Instituto Tecnológico de Chetumal para realizar las pruebas físico-mecánicas.
- Existe la normativa para la evaluación de los bloques.
- Se cuenta con el apoyo de alumnos que realizan su servicio social como ayudantes de tesis.
- Se puede bajar recursos para el proyecto o solventarlo con recursos propios.
- Los materiales para la elaboración de los bloques testigo se encuentran en la zona.

---

<sup>1</sup>Ver anexos del 1 al 3, para más información.



- Es una opción para la reutilización de los residuos de PET, disminuyendo así la contaminación y reduciendo los costos de elaboración al utilizar material reciclado y de la región.
- La planta de reciclaje que genera el agregado fino de PET se encuentra en playa del Carmen, teniendo la facilidad de conseguir el agregado.

## **1.9. OBJETIVOS Y META**

### **1.9.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la resistencia a compresión y la absorción de los bloques huecos elaborados con cemento, arena, sascab y gravilla, con una sustitución parcial de los agregados finos con triturado fino de PET con porcentajes del 5 al 15%.

### **1.9.2. OBJETIVOS PARTICULARES**

- Caracterizar la arena, el sascab y la gravilla.
- Elaborar los bloques huecos con la relación 1:3:2:3 de cemento, arena, sascab y gravilla con adición de triturado fino de PET utilizando porcentajes del 5 al 15%.
- Determinar la resistencia a compresión y el porcentaje de absorción de los bloques huecos con y sin triturado fino de PET.

### **1.9.3. META**

- Diseño de un bloque hueco con la proporción 1:3:2:3 de cemento, arena, sascab y gravilla con triturado fino de PET que cumpla con la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012.

## CAPITULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. VARIABLES Y METODOLOGÍA

Las variables utilizadas para la elaboración de los bloques es en base a investigaciones previas con lo que se determinó los porcentajes de PET, las investigaciones recomendaban no exceder del 15% de PET. Con base en esto se determina la secuencia experimental (Fig. 2.1).

#### **Especificacion de variables**

Se determinó las variables de entrada y salida.

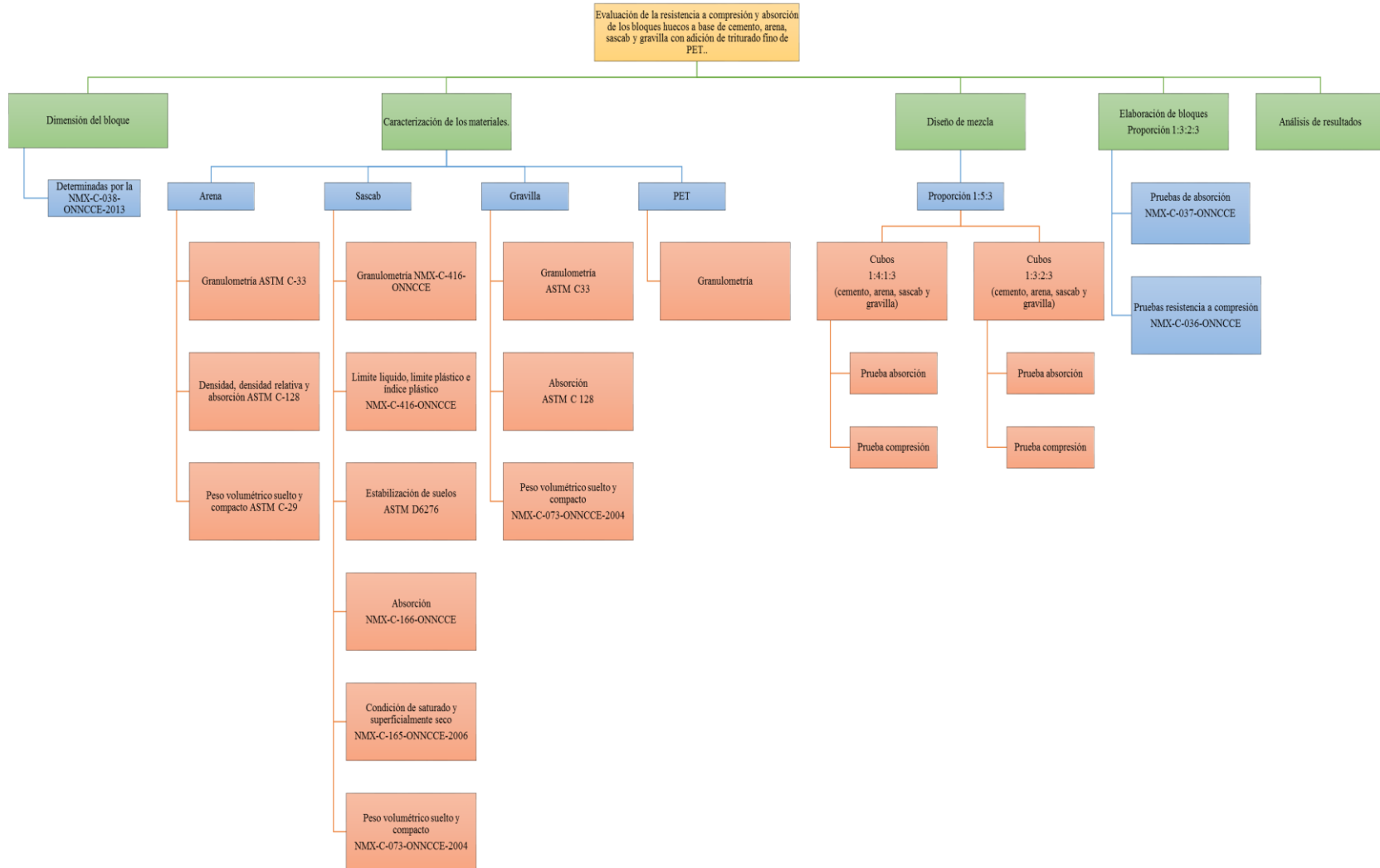
##### **Variables de entrada:**

- Porcentaje de triturado fino de PET, del 0 al 15%.
- Banco de sascab ubicado en: Juan Sarabia km. 21.

##### **Variables de salida:**

- Caracterización de los materiales.
- Resistencia a compresión.
- Absorción.
- Peso de los bloques.

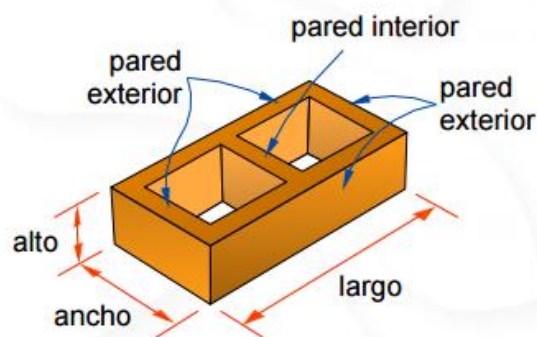
Fig. 2.1. Secuencia experimental.



## 2.2. DIMENSIONES DEL BLOQUE

Las dimensiones que se utilizaron para los bloques son de 15x40x20 centímetros, las mismas dimensiones utilizadas en la región de Chetumal, Quintana Roo. Estas dimensiones están determinadas por la norma NMX-C-038-ONNCCE-2013 (Fig. 2.2), para considerarse un bloque hueco debe cumplir con lo siguiente:

PIEZA HUECA: Área neta  $\geq 0.5$  Área bruta



$A_{bruta} = \text{largo} \times \text{ancho}$ , es el área total (bruta)

$A_{neta} = A_{bruta} - \text{área de huecos}$ , es el área neta

Fig. 2.2. Estándar para dimensiones del bloque a realizar. Fuente: NMX-C-038-ONNCCE-2013.

En base a los estándares establecidos por la norma el área bruta del bloque a utilizar es igual a:

Área bruta:  $15 \times 40 \text{ cm.} = 600 \text{ cm}^2$ .

Área neta:  $600 \text{ cm}^2 - ((9.5 \times 9.5) \times 3) = 329.25 \text{ cm}^2$

Para que el bloque sea considerado como hueco el área neta del bloque debe ser mayor o igual al 0.5 del área bruta, en este caso el área neta corresponde a 0.548 del área bruta, cumpliendo así con lo establecido en norma.

El grosor de las paredes del bloque debe cumplir con lo siguiente establecido en normas, las paredes exteriores deben ser  $\geq 15$  mm y las paredes interiores  $\geq 13$  mm, para que se cumpla con lo establecido en la norma NMX-C-038-ONNCCE-2013.

### 2.3. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL

El material utilizado se obtuvo del banco Juan Sarabia Km. 20, rumbo a Escárcega (Fig. 2.3). Antes de iniciar las pruebas, se realizó un cuarteo de los materiales para homogenizarlo y de esta forma se determinó la muestra utilizada.



Fig.2.3. Obtención de los materiales del banco Juan Sarabia Km. 20.

#### 2.3.1. CARACTERIZACIÓN DE LA ARENA

##### 2.3.1.1. GRANULOMETRÍA DE LA ARENA

La norma ASTM C 33 determina las especificaciones estándar para los agregados de concreto, definiendo los requisitos de clasificación y calidad de los agregados finos y gruesos, determinando los límites máximos y mínimos de los materiales. Se determina con muestras de 500 gramos, utilizando los tamices 3/8", #4, #8, #16, #30, #50, #100 y #200 (Fig. 2.4). Una vez acomodado los tamices se coloca la muestra y se tapa para colocarla en el agitador. Esto determinara el porcentaje que pasa de cada malla, se grafican los datos y se compara con los

límites mínimos y máximos determinados por la norma. Esto determinara si el material es de buena calidad.



Fig. 2.4. Granulometría de la arena.

#### 2.3.1.2. DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DE LA ARENA

La norma ASTM C-128 determina el método de ensayo que debe utilizarse para determinar la densidad (Fig. 2.5) o la porción esencialmente sólida de un gran número de partículas de agregado, y da un valor promedio.

Formulas:

Determinar la densidad relativa (seca al horno):

$$S=A/(B+S-C) \dots\dots(\text{Ec.2.1})$$

Determinar la densidad relativa SSS:

$$\text{SSS}= S/(B+S-C) \dots\dots(\text{Ec.2.2})$$

Determinar la densidad relativa aparente:

$$\text{DRA}= A/(B+A-C) \dots\dots(\text{Ec.2.3})$$

Determinar la absorción:

$$\% \text{ Absorción} = 100((S-A)/A) \dots\dots(\text{Ec.2.4})$$

Determinar la humedad:

$$H=(Mh-Ms/Ms(100)) \dots(Ec.2.5)$$

Donde:

- A) Masa de la muestra de ensayo seca al horno
- B) Masa del picnómetro con agua hasta la marca de calibración
- C) Masa del picnómetro con muestra de ensayo y agua hasta la marca de calibración
- S) Masa de la muestra de ensayo, saturada de superficie seca
- H) Contenido de agua %
- Mh) Muestra húmeda
- Ms) Muestra seca



Fig. 2.5. Prueba del picnómetro.

## 2.3.1.3. PESOS UNITARIOS Y PORCENTAJE DE VACÍOS

La norma ASTM C-29 es un método de ensaye la cual determina la densidad en masa de los agregados en condición compacta o suelta junto con el cálculo de vacíos en los agregados. Se determinan con las siguientes formulas.

Densidad aparente de los agregados:

$$M=(G-T)/V \text{ ó } M=(G-T)F \dots (\text{Ec.2.6})$$

Donde:

G) Masa de los agregados más el recipiente

T) Masa de recipiente

V) Volumen del recipiente

F) Factor para recipiente

El cálculo de contenido de vacíos en el agregado se obtiene mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ DE VACIOS} = 100((S \times W) - M) / (S \times W) \dots (\text{Ec.2.7})$$

Donde:

M= densidad aparente de los agregados

S= densidad relativa (base seca) determinada por el método ASTM C-128

W= densidad del agua

Para el proceso se llena el recipiente de agua limpia a temperatura ambiente, se determina la masa del agua. Se determina la temperatura del agua y en función de eso obtiene la masa unitario del agua en kilogramos por metro cubico ( $\text{kg/m}^3$ ), de acuerdo con la fórmula:

$$F= MU/MA \dots (\text{Ec.2.8})$$

Donde:

F) factor en un metro cubico ( $1/\text{M}^3$ )



MU) masa unitaria del agua que se obtiene de la (Tabla 2.1)

MA) masa del agua requerida para llenar el recipiente, en kg.

Tabla. 2.1. Masa unitaria del agua a varias temperaturas, de la arena.

K	C°	MU (KG/M3)
273-285	0-12	1000
288	15	999.1
291	18	998.58
294	21	997.95
296	23	997.5
297	24	997.3
300	27	996.52
302	29	995.97
303	30	995.75

#### 2.3.1.4. PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO

Se determina vaciando el agregado homogenizado en un recipiente de volumen y peso conocido, a una altura de 50 mm sobre el borde del recipiente, distribuyéndolo uniformemente para evitar la segregación del agregado fino y con ayuda del enrasador se realiza un corte horizontal para uniformizar el material, para después pesarlo.

$$P.V.S.S. = W_t - W_m \times F \dots (Ec.2.9)$$

Donde:

Wt) Peso total de la muestra más el recipiente en kg.

Wm) Peso de la muestra seca suelta menos el recipiente en kg.

F) Factor del recipiente en m<sup>3</sup>

### 2.3.1.5. PESO VOLUMÉTRICO SECO COMPACTO

Se determina llenando el recipiente a una tercera parte de su capacidad, posteriormente se varilla 25 veces, se llena a dos terceras partes de su capacidad y se compacta con 25 golpes, finalmente se llena por completo el recipiente y se compacta con la misma cantidad de golpes (Fig. 2.6).

Se enraza para dejar uniforme la superficie. Se pesa el recipiente en la báscula para determinar el peso y se aplica la formula siguiente:

$$P.V.S.C.= (W_t - W_m) \times F \dots (Ec.2.10)$$

Donde:

W<sub>t</sub>) Peso total de la muestra más el recipiente en kg.

W<sub>m</sub>) Peso de la muestra seca suelta menos el recipiente en kg.

F) Factor del recipiente en m<sup>3</sup>



Fig. 2.6. Peso volumétrico del sascab.

### 2.3.2. CARACTERIZACIÓN DEL SASCAB

#### 2.3.2.1. GRANULOMETRÍA

Se determina mediante muestras de 500 gramos según la norma NMX-C-416-ONNCCE, EL objetivo del muestreo es determinar las características y propiedades de los materiales que lo conforman. El material se pasa por los tamices de 1", ¾", ½", 3/8", #4, #10, #20, #40, #60, #100 y #200 (Fig. 2.7). Al tener los porcentajes que pasan por cada malla se podrá buscar la clasificación del suelo según la S.U.C.S. (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).



Fig. 2.7. Granulometría del sascab.

#### 2.3.2.2. DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA

El objetivo es la identificación y clasificación de suelos, la norma NMX-C-416-ONNCCE-2003 nos especifica como determinar los límites de consistencia. Un límite de consistencia permite conocer las características de plasticidad de los materiales que pasan la malla N°40. Como lo es el límite líquido y el límite plástico. El límite líquido determina el contenido de agua necesario para las fronteras entre semilíquido y plástico. Mientras que el límite plástico determina las fronteras entre el estado plástico y semisólido. Las pruebas se realizaron tres veces para la eliminación de errores.

El método de muestreo establece que la muestra debe pasar por la malla N°40, se utilizaron muestras de 250 gr., se colocó el material en un recipiente adecuado y se le agregó agua necesaria para saturar el material, se cubrió el recipiente con un paño para mantenerlo húmedo, evitando la pérdida de agua por evaporación, se dejó reposar 24 horas. Con este material se realizan las siguientes pruebas:

### LIMITE LÍQUIDO

Se determinó con la prueba de copa de Casagrande (Fig. 2.8), se toma una porción de la muestra y se coloca una cantidad suficiente de material el cual se extendió con una espátula hasta obtener un espesor de entre 8 y 10 mm en la parte central de la copa. Se ranura el material y se procedió con la manivela para hacer caer la copa, dando dos golpes por segundo, se registraron los golpes.

El método de muestro determina que se deben registrar 4 valores con golpes de entre 10 y 35 golpes, dos golpes por arriba y dos por debajo de 25 golpes.

### LIMITE PLÁSTICO:

Del material preparado se forman esferas de aprox. 12 mm de diámetro, se moldearon con los dedos sobre una superficie de vidrio, hasta obtener cilindros con un diámetro de 3mm en toda la longitud hasta que se rompa en tres secciones. Las cuales se colocan en un recipiente, se pesaron y se metieron al horno. Una vez obtenido ambos límites se calculó el índice plástico que es la diferencia entre el límite líquido y el plástico.



Fig. 2.8. Determinación del límite líquido.

### 2.3.2.3. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

La norma ASTM D6276 proporciona el método para estimar el requisito de proporción de cal que requiere el suelo para su estabilización, se utiliza material que pase la malla N°40, se realizan cinco muestras de 25 gramos de suelo cada una con un porcentaje de cal del 2% al 6% de cal proporcional a la cantidad de muestra, y una muestra de solo 2 gramos de cal, se utilizan 100 mililitros de agua desionizada, se colocan en frascos con tapa y se procede a batir las muestras por 30 segundos cada 10 minutos durante una hora, es necesario que los especímenes estén a una temperatura de 25 °C ± 1°C, se procede a medir el potencial de hidrogeno con el PH-meter, el cual debe estar calibrado (Fig. 2.9). El más bajo para estabilizar un suelo es de 12.4 pH. Con base a los resultados se determina el porcentaje de cal requerido para su estabilización.

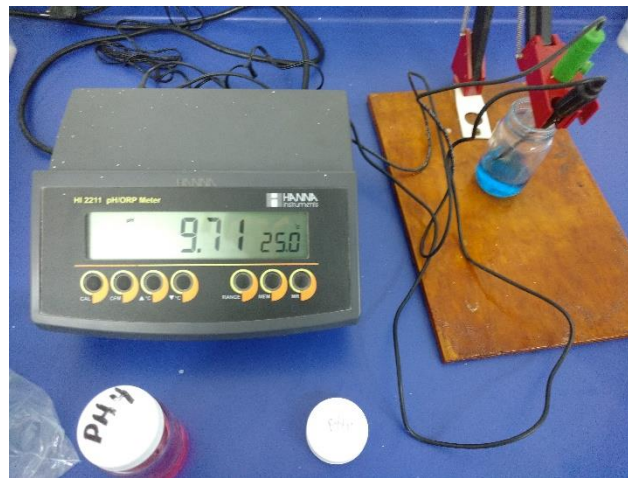


Fig. 2.9. Calibración del PH-meter.

### 2.3.2.4. CONTENIDO DE AGUA POR SECADO DEL MATERIAL

La NMX-C-166-ONNCCE-2006, establece que para determinar el porcentaje de contenido de agua, se toma una muestra de 200 gramos del material de banco conteniendo la humedad del lugar, se coloca en horno y se seca durante 24 horas a una temperatura de 110 °C, después se pesa el material seco y se aplica la siguiente formula:

$$H = \left( \frac{M_h - M_s}{M_s} \right) \times 100 \quad \dots(\text{Ec.2.11})$$

Donde:

H) contenido de agua en %

Mh) masa de la muestra húmeda en gramos

Ms) la masa de la muestra seca en gramos

#### 2.3.2.5. CONDICIÓN DE SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO

La norma NMX-C-165-ONNCCE-2004, establece que el contenido de agua superficial es igual a la diferencia entre el contenido de agua total y la absorción. Se toma una muestra de 3 kilogramos aproximadamente de material secado al horno a una temperatura de 110 °C, se coloca en un recipiente y se agrega agua para cubrirlo por inmersión por 24 horas.

Pasado el lapso de tiempo, se decanta el exceso de agua evitando la pérdida de finos, se extiende la muestra en una superficie lisa no absorbente, se remueve con frecuencia para asegurar un secado homogéneo.

Con una mano se fija el molde cónico, el diámetro mayor debe estar hacia abajo, se llenara en el molde en 3 capas, las dos primeras capas se compactaran 10 veces con el pisón sin altura de caída (Fig. 2.10). La última capa se compactara 3 veces, se volverá a llenar el molde y se aplican 2 ultimas compactaciones para completar las 25, se enrasa el material para que quede uniforme.



Fig. 2.10. Prueba de la condición de saturado y superficialmente seco.

Se levanta el molde verticalmente, si la forma se conserva indica que el agregado contiene todavía humedad superficial. El proceso se repite hasta lograr que el agregado llegue a la condición de saturado y superficialmente seco, que será cuando se retire el molde y el material se haya disgregado un poco.

Se aplica entonces la siguiente formula:

$$A = \left( \frac{F - G}{G} \right) \times 100 \quad \dots(\text{Ec.2.12})$$

Donde:

A) Es el porcentaje de absorción en base a la masa de agregado seco, en %

F) es la masa de la muestra saturada superficialmente seca, en g.

G) es la masa de la muestra seca, en g.

#### 2.3.2.6 PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO Y COMPACTO

De acuerdo a la norma NMX-C-073-ONNCCE-2004, Para el proceso se llena el recipiente de agua limpia a temperatura ambiente, se determina la masa del agua. Se determina la temperatura del agua y en función de eso obtiene la masa unitario del agua en kilogramos por metro cubico ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), de acuerdo con la fórmula:

$$F = MU/MA \dots(\text{Ec.2.13})$$

Donde:

F) factor en un metro cubico ( $1/\text{M}^3$ )

MU) masa unitaria del agua que se obtiene de la (Tabla 2.2).

MA) masa del agua requerida para llenar el recipiente, en kg.

Tabla 2.2. Masa unitaria del agua a varias temperaturas, del sascab.

K	C°	MU (KG/M3)
273-285	0-12	1000
288	15	999.1
291	18	998.58
294	21	997.95
296	23	997.5
297	24	997.3
300	27	996.52
302	29	995.97
303	30	995.75

### PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO

Se determina vaciando el agregado homogenizado en un recipiente de volumen y peso conocido, a una altura de 50 mm sobre el borde del recipiente, distribuyéndolo uniformemente para evitar la segregación del agregado fino y con ayuda del enrasador se realiza un corte horizontal para uniformizar el material, para después pesarlo.

$$P.V.S.S.= W_t - W_m \times F \dots (\text{Ec.2.14})$$

Donde:

W<sub>t</sub>) Peso total de la muestra más el recipiente en kg.

W<sub>m</sub>) Peso de la muestra seca suelta menos el recipiente en kg.

F) Factor del recipiente en m<sup>3</sup>

### PESO VOLUMÉTRICO SECO COMPACTO

Se determina llenando el recipiente a una tercera parte de su capacidad, posteriormente se varilla 25 veces, se llena a dos terceras partes de su capacidad y se compacta con 25 golpes, finalmente se llena por completo el recipiente y se compacta con la misma cantidad de golpes.



Se enrasa para dejar uniforme la superficie. Se pesa el recipiente en la báscula para determinar el peso (Fig.2.11) y se aplica la formula siguiente:

$$P.V.S.C.= (W_t - W_m) \times F \dots (Ec.2.15)$$

Donde:

W<sub>t</sub>) Peso total de la muestra más el recipiente en kg.

W<sub>m</sub>) Peso de la muestra seca suelta menos el recipiente en kg.

F) Factor del recipiente en m<sup>3</sup>



Fig. 2.11. Peso volumétrico seco compacto del sascab.

### 2.3.3. CARACTERIZACIÓN DE LA GRAVILLA

#### 2.3.3.1. GRANULOMETRÍA

La norma ASTM C 33 determina las especificaciones estándar para los agregados de concreto, definiendo los requisitos de clasificación y calidad de los agregados finos y gruesos, determinando los límites máximos y mínimos de los materiales. Se determina con muestras de 500 gramos, utilizando los tamices 1/2", 3/4", 1/4", #4 y #8 (Fig. 2.12). Una vez acomodado los tamices se coloca la muestra y se tapa para colocarla en el agitador. Esto determinara el porcentaje que pasa de cada malla, se grafican los datos y se compara con los límites mínimos y máximos determinados por la norma. Esto determinara si el material es de buena calidad.



Fig. 2.12. Granulometría de la gravilla.

### 2.3.3.2. ABSORCIÓN

La norma ASTM C-128 determina el método de ensayo que debe utilizarse para determinar la absorción del agregado grueso, en el cual se usó una muestra de 2 kilogramos.

Determinar la absorción:

$$\% \text{ Absorción} = 100((S-A)/A) \dots\dots(\text{Ec.2.16})$$

Donde:

A) Masa de la muestra de ensayo seca al horno

S) Masa de la muestra de ensayo, saturada de superficie seca

### 2.3.3.3. PESO VOLUMÉTRICO SECO Y COMPACTO

De acuerdo a la norma NMX-C-073-ONNCCE-2004, Para el proceso se llena el recipiente de agua limpia a temperatura ambiente, se determina la masa del agua. Se determina la temperatura del agua y en función de eso obtiene la masa unitaria del agua en kilogramos por metro cubico ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), de acuerdo con la fórmula:

$$F = MU/MA \dots\dots(\text{Ec.2.17})$$

Donde:

F) factor en un metro cubico ( $1/\text{M}^3$ )

MU) masa unitaria del agua que se obtiene de la (Tabla 2.3).

MA) masa del agua requerida para llenar el recipiente, en kg.

Tabla 2.3. Masa unitaria del agua a varias temperaturas, de la gravilla.

K	C°	MU (KG/M3)
273-285	0-12	1000
288	15	999.1
291	18	998.58
294	21	997.95
296	23	997.5
297	24	997.3
300	27	996.52
302	29	995.97
303	30	995.75

### PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO

Se determina vaciando el agregado homogenizado en un recipiente de volumen y peso conocido, a una altura de 50 mm sobre el borde del recipiente, distribuyéndolo uniformemente para evitar la segregación del agregado fino y con ayuda del enrasador se realiza un corte horizontal para uniformizar el material, para después pesarlo.

$$P.V.S.S.= W_t - W_m \times F \dots (Ec.2.18)$$

Donde:

W<sub>t</sub>) Peso total de la muestra más el recipiente en kg.

W<sub>m</sub>) Peso de la muestra seca suelta menos el recipiente en kg.

F) Factor del recipiente en m<sup>3</sup>

### PESO VOLUMÉTRICO SECO COMPACTO

Se determina llenando el recipiente a una tercera parte de su capacidad, posteriormente se varilla 25 veces, se llena a dos terceras partes de su capacidad y se compacta con 25 golpes, finalmente se llena por completo el recipiente y se compacta con la misma cantidad de golpes.

Se enrasa para dejar uniforme la superficie. Se pesa el recipiente en la báscula para determinar el peso (Fig. 2.13) y se aplica la formula siguiente:

$$P.V.S.C.= (W_t - W_m) \times F \dots (Ec.2.19)$$

Donde:

W<sub>t</sub>) Peso total de la muestra más el recipiente en kg.

W<sub>m</sub>) Peso de la muestra seca suelta menos el recipiente en kg.

F) Factor del recipiente en m<sup>3</sup>

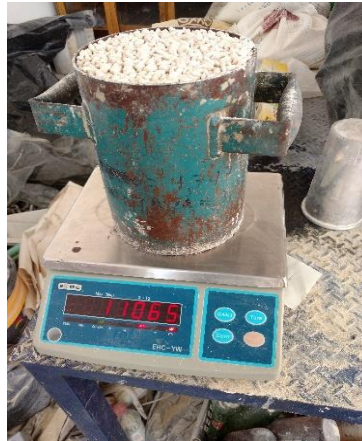


Fig. 2.13. Peso volumétrico seco compacto de la gravilla.

#### 2.3.4. GRANULOMETRÍA DEL PET

Para el PET se determina la granulometría igual que la arena, con la única diferencia que para la granulometría del PET no existen límites mínimo y máximos que determinen la calidad. Por lo tanto solo se determinan los porcentajes que pasan para saber los tamaños de la partícula de PET. Se utilizaron tamices de 3/8", 1/4", #4, #8, #16, #30, #50, #100 y #200 (Fig. 2.14). Una vez puesta la muestra se coloca en el agitador.



Fig. 2.14. Granulometría del agregado fino de PET.

### 2.3.5. ELABORACIÓN DE BLOQUES HUECOS

Para la elaboración de bloques huecos se procedió a pesar los materiales y revolverlos previamente (Fig. 2.15) para llevarlos a la bloquera de la región, donde nos permitieron utilizar la maquina vibro compactadora marca Vibrok para hacer los bloques (Fig. 2.16), en el sitio se anexo el cemento y agua.



Fig. 2.15. Mezcla de los materiales.



Fig. 2.16. Maquina vibro compactadora marca vibrok utilizada en la elaboración de bloques.

### 2.3.6. PRUEBAS A REALIZAR EN LOS BLOQUES

Se aplicaron pruebas de compresión y absorción a los bloques, como lo marcan las normas NMX-C-036-ONNCCE y NMX-C-037-ONNCCE. La prueba de compresión consiste en colocar el bloque entre dos placas de acero con un grosor determinado por la norma y dos placas de neopreno de 14 mm para distribuir uniformemente la carga, los cuales son colocados en la prensa con manómetro digital ADMET GB2 (Fig. 2.17). La prueba de absorción consiste en sumergir los bloques en agua por 24 horas, registrar el peso y después meterlos al horno por 24 horas a una temperatura de 110 °C, se vuelve a registrar el peso y se aplica la formula correspondiente para determinar el porcentaje de absorción.



Fig. 2.17. Bloque en prensa con manómetro digital ADMET GB2.

### CAPITULO III. TRABAJO DE CAMPO

#### 3.1. DIMENSIONES DEL BLOQUE

La dimensión que se utilizó para los bloques fue de 15x20x40 centímetros, las cuales son las dimensiones utilizadas dentro de la región de Chetumal, Quintana Roo. Esta dimensión cumple con la norma NMX-C-038-ONNCCE-2013. Una bloquera de la región permitió la elaboración de los bloques con su vibro compactadora.

#### 3.2. CARACTERIZACION DE MATERIALES

##### 3.2.1. ARENA

Se determinó la granulometría con muestras de agregado fino de 500 gramos (Fig. 3.1), se realizaron las pruebas tres veces para disminuir errores, cada muestra fue pasada por las siguientes mallas: 3/8, #4, #8, #16, #30, #50, #100 y #200 (Fig. 3.2). Determinando la cantidad retenida en cada malla para sacar el porcentaje que pasa de cada una y compararla con los límites máximos y mínimos que establece la norma ASTM C33. Además se determinó el módulo de finura, que es la sumatoria del porcentaje acumulado en las mallas #4 a la #100.



Fig.3.1.Homogenización y cuarteo de la arena.



Fig.3.2. Determinación de la muestra, paso de la muestra por los tamices y granulometría de la arena.

Los resultados de la granulometría demostraron que la arena cumple con los estándares marcados en la norma ASTM C33 (Tabla 3.1), la cual determina los límites máximos y mínimos del porcentaje que pasa, y con los que debe cumplir el agregado fino.

Tabla. 3.1. Promedio de la granulometría de la arena.

PROMEDIO DE LA GRANULOMETRIA DE LA ARENA						
TAMAÑO DE LA MUESTRA		500 gr.	ASTM C33			
MALLA	RETENIDO (g)	% RETENIDO	% ACUMULADO	% QUE PASA	LIMITE MAXIMO	LIMITE MINIMO
3/8	0	0.00	0.00	100.00	100	100
#4	2.000	0.40	0.40	99.60	100	95
#8	83.667	16.73	17.13	82.87	100	80
#16	126.000	25.20	42.33	57.67	85	50
#30	83.333	16.67	59.00	41.00	60	25
#50	66.667	13.33	72.33	27.67	30	5
#100	50.333	10.07	82.40	17.60	10	0
#200	30.667	6.13	88.53	11.47	5	0
FONDO	6.000	1.20	89.73	10.27		
					MF	2.736



En la siguiente grafica se observa que el agregado fino quedo entre ambos límites, determinando que el agregado es de calidad (Fig. 3.3) y puede ser utilizado para la elaboración de bloques.

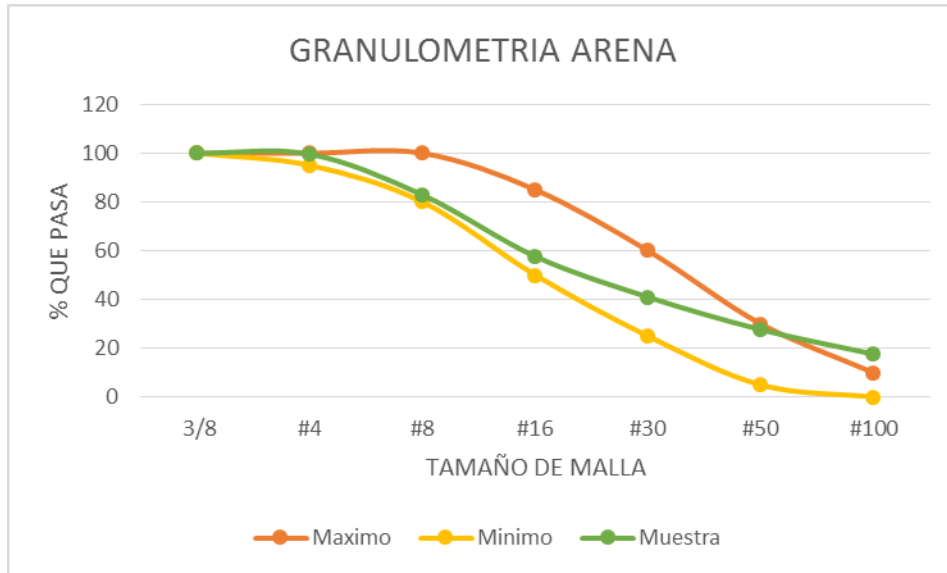


Fig. 3.3. Grafica de la granulometría de la arena.

Se realizaron otras pruebas al agregado fino, como densidad, densidad relativa y absorción de la arena como lo marca la norma ASTM C-128 (Tabla 3.2), las pruebas generaron los datos necesarios a utilizar en la elaboración del diseño de la mezcla, se realizaron pruebas de densidad (Fig. 3.4) y de saturado y superficialmente seco (Fig. 3.5).



Fig. 3.4. Prueba de densidad con el picnómetro.



Fig. 3.5. Prueba de saturado y superficialmente seco.

A la arena se le realizo pruebas de densidad, densidad relativa y absorción como lo especifica la norma ASTM C-128 (Tabla 3.2).

Tabla. 3.2. Pruebas de la norma ASTM C 128.

ASTM C-128 P-4	
DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO	
A) MASA DE LA MUESTRA DE ENSAYO SECA AL HORNO=	475 g
B) MASA DEL PICNOMETRO CON AGUA HASTA LA MARCA DE	1253 g
C) MASA DEL PICNOMETRO CON MUESTRA DE ENSAYO Y AGUA HASTA LA MARCA DE CALIBRACION=	1564 g
S) MASA DE LA MUESTRA DE ENSAYO, SATURADA DE SUPERFICIE SECA=	500 g
H) CONTENIDO DE AGUA %	%
Mh) MUESTRA HUMEDA	500 g
Ms) MUESTRA SECA	428 g
CALCULOS	
DENSIDAD RELATIVA (SECA AL HORNO)	
formula	
$S = A / (B + S - C) =$	
sustitucion	
$S = 475 / (1253 + 500 - 1564) =$	2.513
DENSIDAD RELATIVA SSS	
$SSS = S / (B + S - C)$	
$S = 500 / (1253 + 500 - 1564) =$	2.646
DENSIDAD RELATIVA APARENTE	
$DRA = A / (B + A - C) =$	
$DRA = 475 / (1253 + 475 - 1564) =$	2.896
ABSORCION	
$Absorción \% = 100((S-A)/A)$	
$AB \% = 100((500 - 475) / 475) =$	5.263
HUMEDAD	
$H = (Mh - Ms / Ms)(100)$	
$H = (600 - 428 / 428) \times 100 =$	16.82

### CAPITULO III. TRABAJO DE CAMPO

Se realizaron las pruebas para obtener el peso unitario (Fig. 3.6) y el porcentaje de vacíos en el agregado fino, como lo marca la norma ASTM C-29 (Tabla 3.3).



Fig. 3.6. Determinación del peso volumetrico.

### CAPITULO III. TRABAJO DE CAMPO

Tabla. 3.3. Determinación del peso unitario y el porcentaje de vacíos de la arena.

ASTM C-29	
PROMEDIO DEL PESO UNITARIO Y VACIOS EN ARENA	
M) DENSIDAD APARENTE DE LOS AGREGADOS $M=(G-T)/V$ ó $M=(G-T)/F$ G) MASA DE LOS AGREGADOS MAS EL RECIPIENTE T) MASA DE RECIPIENTE KG (LB) V) VOLUMEN DEL RECIPIENTE M3 F) FACTOR PARA RECIPIENTE M3 $MSSD = ( M ( 1+A/100 ) )$ CONTENIDO DE VACIOS	
CALCULA EL CONTENIDO DE VACIOS EN LOS AGREGADOS USANDO LA DENSIDAD APARENTE DETERMINADA MEDIANTE VARILLADO	
$\% \text{ DE VACIOS} = 100((S \times W) - M) / (S \times W)$ M= DENSIDAD APARENTE DE LOS AG. KG/M3 S= DENSIDAD RELATIVA (BASE SECA) LA CUAL SE DETERMINA POR EL METODO C 128 W= DENSIDAD DEL AGUA =	
AREGADO FINO	Unidad
PESO RECIPIENTE	3.948 kg
PESO RECIPIENTE + VIDRIO =	4.628 kg
PESO RECIPIENTE + VIDRIO + AGUA=	9.471 kg
DENSIDAD DEL AGUA=	996.25 28°
PESO DEL AGUA=	4.843 kg
PESO DEL RECIPIENTE + MATERIAL SUELTO =	11.551 kg
PESO DEL RECIPIENTE - MATERIAL SUELTO =	7.603 kg
PESO DEL RECIPIENTE + MATERIAL COMPACTO =	12.269 kg
PESO DEL RECIPIENTE - MATERIAL COMPACTO =	8.321 kg
FACTOR	996.25 X 4.843 = 205.76
DENSIDAD APARENTE DE LA ARENA	
PESO COMPACTADO	
M= (G-T) F M= 1715.01 kg/m <sup>3</sup>	
PESO SUELTO	
M= (G-T) F M= 1562.34 kg/m <sup>3</sup>	
CONTENIDO DE VACIOS	
$\% = 100 ((S^*W) - M) / (S^*W)$ %= 30.329	

Las pruebas realizadas fueron repetidas en tres ocasiones para eliminar errores, sacando un promedio (Tabla 3.4).

Tabla. 3.4. Resultados de las pruebas en agregado fino.

NORMA		PROMEDIO
ASTM C29	PESO SUELTO	1562.34 kg/m <sup>3</sup>
	PESO COMPACTO	1715.01 kg/m <sup>3</sup>
ASTM C33	MF (Modulo de Finura)	2.74
ASTM C128, C127	SUELTO	2.48
	SSS (saturada superficialmente seca)	2.59
	DRA (Densidad Relativa Aparente)	2.78
	ABSORCION	3.52

### 3.2.2. SASCAB

Se determinó la granulometría con muestras de 500 g. (Fig. 3.7) utilizándose las mallas: 1", 3/4", 1/2", 3/8", #4, #10, #20, #40, #60, #100, #200, como lo marca la norma NMX-C-416-ONNCCE-2006 (Fig. 3.8), las pruebas realizadas se repitieron en tres ocasiones para la eliminación de errores (Tabla 3.5). El sascab se caracteriza con el S.U.C.S ( Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), se realizaron pruebas de granulometría, limite líquido, limite plástico para clasificar el tipo de suelo con el cual se trabajó. Se determinó que es un suelo arenoso SC-SM (Fig. 3.9).



Fig. 3.7. Cuarteo del material y determinación de la muestra.

## CAPITULO III. TRABAJO DE CAMPO



Fig. 3.8. Prueba de granulometría.

Tabla. 3.5. Resultados de la granulometría del sascab.

PROMEDIO GRANULOMETRIA DEL SASCAB				
Muestra:		538.33 gr		
N° de Tamiz	Abertura (mm)	Masa de suelo retenido ( g.)	Porcentaje retenido	Porcentaje que pasa
1"	25	13.67	2.5%	97.46%
3/4"	19	19.00	3.5%	93.93%
1/2"	12.5	42.00	7.8%	86.12%
3/8"	9.5	18.33	3.4%	82.71%
4	4.75	62.67	11.6%	71.07%
10	2	103.67	19.3%	51.80%
20	0.85	54.33	10.1%	41.70%
40	0.425	66.33	12.3%	29.37%
60	0.25	33.67	6.3%	23.11%
100	0.15	30.00	5.6%	17.53%
200	0.075	23.33	4.3%	13.20%
Fondo	-	71.00	13.2%	0.00%
		538.00	100%	

N° de Tamiz	Peso acumulado en g.
1"	13.67
3/4"	19.00
1/2"	42.00
3/8"	18.33
4	62.67
10	103.67
20	54.33
40	66.33
60	33.67
100	30.00
200	23.33
Fondo	71.00

Porcentaje permitido de perdida:	538.33 gr	100%
	5.38 gr	1%

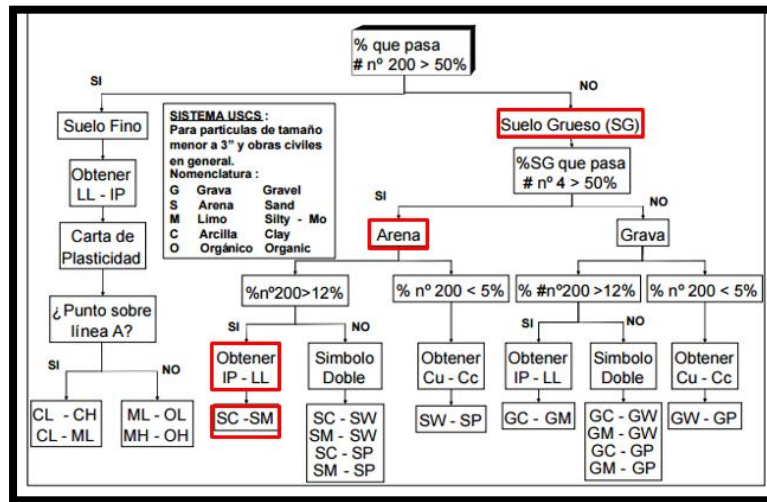


Fig. 3.9. Clasificación de suelos. Fuente: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

### 3.2.2.1 LÍMITE DE CONSISTENCIA DEL SASCAB

Se obtuvo una muestra como se establece en la norma NMX-C-416-ONNCCE-2006, se pasó el material por la malla N°40, obteniendo una muestra de 250 gramos la cual se colocó en un recipiente y se le agregó agua suficiente para saturar el material, se dejó en reposo por 24 horas.

Transcurrido el tiempo, se colocó 150 gramos en una capsula de porcelana, donde se homogenizó. Una vez calibrada la copa de Casagrande, se procedió a colocar el material hasta alcanzar un espesor de 8 a 10 milímetros en la parte central (Fig. 3.10), después con el ranurador se realiza una abertura en el centro.

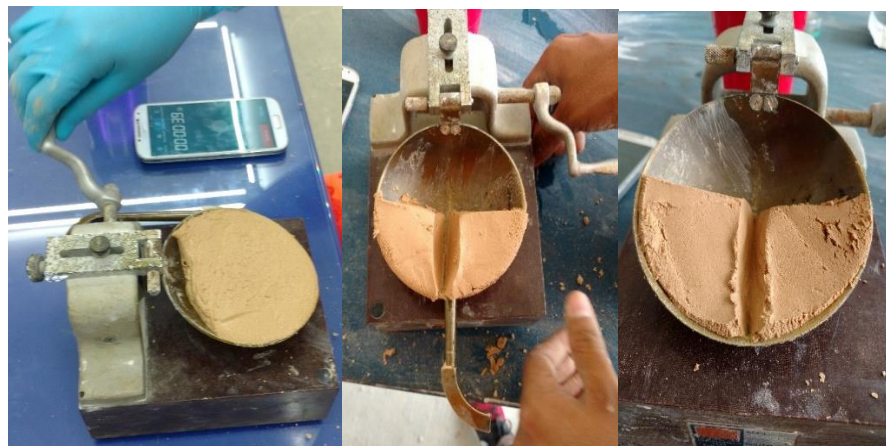


Fig. 3.10. Colocación, ranurado y cerrado del material en la copa de Casagrande.

### CAPITULO III. TRABAJO DE CAMPO

Una vez ranurado se procedió con la manivela del aparato, para hacerlo caer con una velocidad de dos golpes por segundo, se registró el número de golpes requeridos para lograr juntar los bordes inferiores de la ranura y se pongan en contacto en una longitud de 13 milímetros. Posteriormente se tomó con la espátula 10 gramos del material para determinar su contenido de agua (Fig. 3.11).

El procedimiento se repitió hasta completar cuatro determinaciones que deben quedar comprendidas entre 10 y 35 golpes en la copa de Casagrande, dos valores por arriba de los 25 golpes y dos por debajo de los 25. Después se calculó los límites líquido y plástico, para la determinación del índice plástico (Tabla 3.6).



Fig. 3.11. Material en forma de cilindros de 3 mm y material secado en horno.



### CAPITULO III. TRABAJO DE CAMPO

Tabla. 3.6. Promedio del índice plástico del sascab.

Copa de Casagrande							
Límite Líquido							

Nº	Golpes	Masa Tara + Suelo Húmedo g.	Masa Tara + Suelo Seco g.	Masa del Agua	Tara	Masa del Suelo Seco	Contenido de agua %
1	17	34 g	32 g	2 g	24 g	8 g	25.00 %
2	18	33 g	32 g	1 g	23 g	9 g	11.11 %
3	28	31 g	29 g	2 g	21 g	8 g	25.00 %
4	29	32 g	30 g	2 g	22 g	8 g	25.00 %

WL= Límite líquido      WL= 21

Límite Plástico						
-----------------	--	--	--	--	--	--

Nº	Masa Tara + Suelo Húmedo g.	Masa Tara + Suelo Seco g.	Masa del Agua	Tara	Masa del Suelo Seco	Contenido de agua %
1	13 g	12 g	1 g	7 g	5 g	20.00 %
2	13 g	12 g	1 g	6 g	6 g	16.67 %
3	13 g	12 g	1 g	7 g	5 g	20.00 %

$$w_p = (\sum w_i) / 3$$

w<sub>p</sub>= Límite plástico de la muestra

w<sub>i</sub>= Contenido de agua para cada una de las 3 determinaciones (%)

w<sub>p</sub>= 18.89 %

Índice Plástico	
IP= WL-WP	IP= 2.1
<p>IP= Índice Plástico                      WL= Límite Líquido                      Wp= Límite Plástico</p>	

Tabla. 3.7. Determinación de los límites líquido y plástico.

Promedio del índice Plástico	
IP= WL-WP	IP= 2.9
WL= 19.67	
WP= 16.76	
<p>IP= Índice Plástico                      WL= Límite Líquido                      Wp= Límite Plástico</p>	

3.2.2.2. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON LA NORMA ASTM D6276

Se determinó la cantidad de cal requerida para la estabilización del suelo, consistió en muestras de material que paso la malla N°40. Se utilizó una muestra de 250 gramos, se separaron en 5 muestras de 25 gramos, a las cuales se le aplicaron porcentajes del 2% al 6% de cal, además de una muestra con solo 2 gramos de cal. Se colocó en recipientes herméticos y se le aplico a cada muestra 100 mililitros de agua desionizada.

Las muestras fueron agitadas durante 30 segundos cada 10 minutos, durante una hora. Se tomó la medición del pH con el HI 2211 Ph/ORP Meter (Fig. 3.12), las muestras deben estar a una temperatura de 25 °C +- 1 °C. Se registraron los resultados (Tabla 3.8), la norma establece que se necesita un pH mínimo de 12.4 para estabilizar el suelo. Determinando que la muestra de sascab requirió un 3% de cal para su estabilización.



Fig. 3.12. Medición del pH con el HI 2211 Ph/ORP Meter del sascab.

Tabla. 3.8. Resultados de la prueba de estabilización de suelos.

Estabilización de suelos				ASTM D6276	Temperatura : 25°C +- 1°C			
Muestra: 25 gr. De Sascab								
Prueba	P-1		P-2		P-3		Promedio	
Muestra	p.H.	Temperatura	p.H.	Temperatura	p.H.	Temperatura	p.H.	Temperatura
2 gr. De Cal	12.15	24.1	12.13	25.2	12.1	24.2	12.13	24.50
2 % de Cal	12.24	24	12.08	24.4	12.11	24.9	12.14	24.43
3 % de Cal	12.46	24.5	12.39	24	12.37	24	12.41	24.17
4 % de Cal	12.53	24.7	12.48	25.3	12.46	24.2	12.49	24.73
5 % de Cal	12.55	24.8	12.5	25.2	12.49	25.1	12.51	25.03
6 % de Cal	12.61	24.2	12.52	25.2	12.5	25.2	12.54	24.87
p.H. mínimo para estabilizacion de suelos: 12.4 p.H								

3.2.2.3. CONTENIDO DE AGUA POR SECADO DEL MATERIAL DE SASCAB

Se determinó el contenido de agua con muestras de 200 gramos (Tabla 3.9), las cuales se pesaron para posteriormente meterlas al horno por 24 horas a 110 °C, cumplido el tiempo se registra el peso y se procedió a realizar la fórmula del contenido de agua.

Tabla. 3.9. Resultados de la prueba de contenido de agua por secado.

NMX-C-166-ONNCCE-2006			
Contenido de agua por secado del material al sascab			
		Prueba: 200 gr.	
$H = \left( \frac{Mh - Ms}{Ms} \right) \times 100$			
H=	2.17 %	Mh=	200 g
		Ms=	196 g
Donde:			
H=	contenido de agua en %		
Mh=	masa de la muestra húmeda, en g.		
Ms=	masa de la muestra seca, en g.		

3.2.2.4. CONDICIÓN DE SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO DEL SASCAB

Se determinó una muestra de 3 kilogramos de sascab, según la norma NMX-C-165-ONNCCE-2004, la cual se secó al horno a una temperatura de 110 °C, posteriormente se colocó en un recipiente y se saturó con agua durante 24 horas.

Pasado el lapso se decantó el exceso de agua evitando la pérdida de finos, se extendió el material sobre una superficie lisa no absorbente. Se utilizó un molde cónico con el diámetro mayor hacia abajo y se procedió a llenarse en 3 capas, cada una se compactó con el pisón 10 veces y la última capa con 5 golpes (Fig. 3.13). El material se enrasó para dejarlo uniforme. Se levanta el molde verticalmente, la forma se disgregó determinando que el agregado llegó a su condición de saturado y superficialmente seco (Tabla 3.10).



Fig. 3.13. Condición de saturado y superficialmente seco del sascab.

Tabla. 3.10. Resultados de la prueba de condición de saturado y superficialmente seco.

NMX-C-165-ONNCCE-2006		
Condición de saturado y superficialmente seco (sss). Del sascab.		
$A = \left( \frac{F - G}{G} \right) \times 100$		
A=	9.89 %	F= 200 g G= 182 g
Donde:	A= es el porcentaje de absorción en base a la masa de agregado seco, en %. F= es la masa de la muestra saturada superficialmente seca, en g. G= es la masa de la muestra seca, en g.	

### 3.2.2.5. PESO VOLUMÉTRICO SUELTO Y COMPACTO

Se calibro y obtuvo el factor en un metro cubico del recipiente, para el valor de 28 °C en la temperatura del agua, por lo tanto (MU) es: 996.245 kg/m<sup>3</sup>, el peso de la masa del agua (MA) es 4.838 kg (Tabla 3.11).



3.2.2.6. PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO

Se determinó vaciando el agregado previamente homogenizado en un recipiente de volumen y peso conocido, a una altura de 50 mm sobre el borde del recipiente (Fig. 3.14), su distribución fue uniforme para evitar la segregación del material, con ayuda del enrasador se realizó un corte horizontal para uniformizar el material, posteriormente se registró el peso (Tabla 3.12).

Tabla. 3.12. Promedio del peso volumétrico seco suelto.

Peso Volumetrico Seco Suelto Promedio	
P.V.S.C. = $W_m \times F =$	
F= factor de un metro cubico.	
Wm= peso de la muestra menos el recipiente	
Wm=	6.644 kg.
P.V.S.S.=	916.182 kg.



Fig. 3.14. Llenado del recipiente con sascab.

3.2.2.6. PESO VOLUMÉTRICO SECO COMPACTO

Se determinó llenando el recipiente en 3 capas, cada una compactada con 25 varilladas, finalmente se enraso el material para dejarlo uniforme (Fig. 3.15). Se pesa el material en la báscula y se realizan las ecuaciones (Tabla 3.13).



Fig. 3.15. Compactación del material con varillado.

Tabla. 3.13. Peso volumétrico seco compacto.

<b>Peso Volumetrico Compacto Promedio</b>	
P.V.S.C. = $W_m \times F =$	
F= factor de un metro cubico.	
W <sub>m</sub> = peso de la muestra menos el recipiente	
<b>Prueba:</b>	
W <sub>m</sub> =	7.8873 kg.
P.V.S.C.=	1087.117 kg.

3.2.3. GRAVILLA

3.2.3.1. GRANULOMETRÍA

Se determinó la granulometría con muestras de agregado de 1 kilogramo, se realizaron las pruebas tres veces para disminuir errores, cada muestra se pasó por las siguientes mallas: 1/2", 3/8", 1/4", #4 y #8 (Fig. 3.16). Determinando la cantidad retenida en cada malla para sacar el porcentaje que pasa de cada una y compararla con los límites máximos y mínimos que establece la norma ASTM C33 (Tabla 3.14). Se determinó que la gravilla utilizada es de buena calidad (Fig. 3.17).



Fig. 3.16. Granulometría de la gravilla.

Tabla. 3.14. Granulometría promedio de la gravilla.

Gravilla Promedio					
Muestra:	1091.3 gr				Astm C33
N° de Tamiz	Abertura (mm)	Masa de suelo retenido ( gr.)	Porcentaje retenido	Porcentaje que pasa	Rangos permitidos. Tamaño 8 (3/8 a n°8)
1/2	12.50 mm	4.00	0.36%	99.64%	100
3/8	9.50 mm	8.00	0.73%	99.27%	85-100
1/4	6.30 mm	628.00	57.61%	41.66%	
4	4.75 mm	298.67	27.41%	14.25%	10-30
8	2.36 mm	103.00	9.46%	4.79%	0-10
Fondo	1.18 mm	48.00	4.43%	0.36%	0-5
		1089.67	100%		ok

Porcentaje permitido de pérdida:	1089.67 gr	100%
	10.897 gr	1%



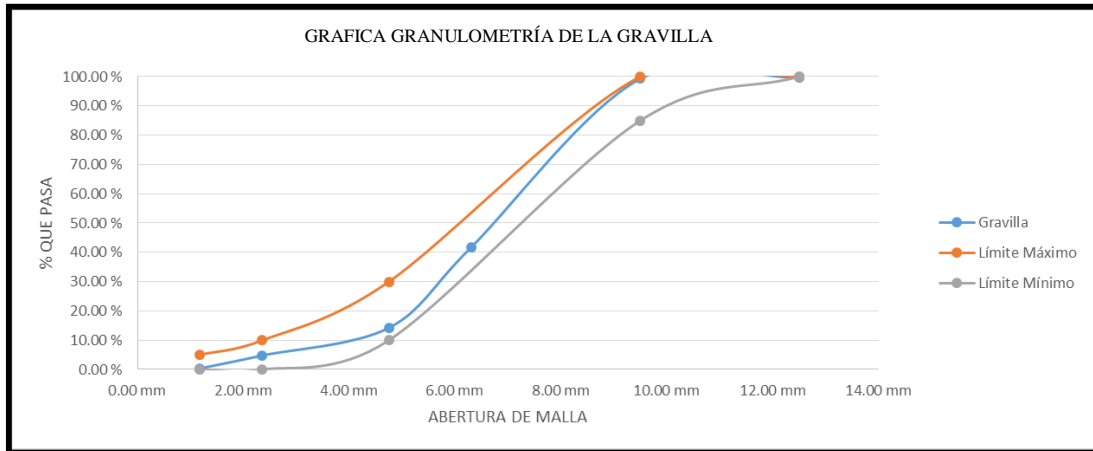


Fig. 3.17. Gráfica granulométrica de la gravilla.

### 3.2.3.2. ABSORCIÓN DE LA GRAVILLA

La norma ASTM C 128 determina la prueba de absorción. Se utilizaron muestras de aproximadamente 2 kilogramos (Fig. 3.18), las cuales se colocaron en un recipiente y se saturaron con agua durante 24 horas, se escurrió y se secó superficialmente para posteriormente registrar el peso, después se metieron al horno por 24 horas a una temperatura de 110 °C, para posteriormente cumplido el lapso de tiempo se registró nuevamente el peso. Con estos datos se determinó el porcentaje de absorción (Tabla 3.15).

Tabla. 3.15. Determinación de absorción en la gravilla.

ASTM C 128		
Absorción de la Gravilla		
$A = \left( \frac{F - G}{G} \right) \times 100$		
<b>P-1</b>	A= 2.26 %	F= 2035 g G= 1990 g
<b>P-2</b>	A= 3.63 %	F= 2058 g G= 1986 g
<b>P-3</b>	A= 3.73 %	F= 2060 g G= 1986 g
<b>Promedio</b>	A= 3.20 %	
Donde: A= es el porcentaje de absorción en base a la masa de agregado seco, en %. F= es la masa de la muestra saturada superficialmente seca, en g. G= es la masa de la muestra seca, en g.		

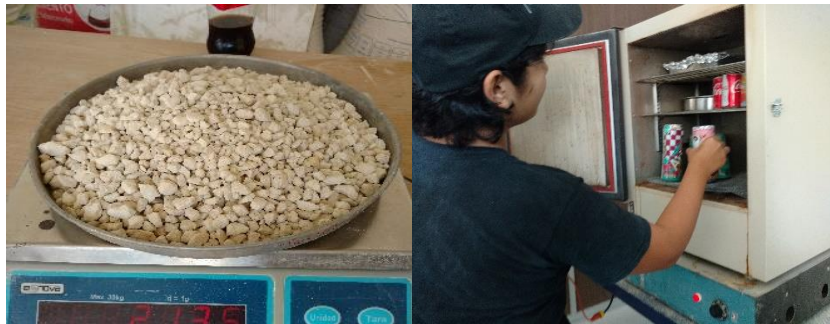


Fig. 3.18. Determinación de la muestra de gravilla y colocación de las muestras en el horno.

### 3.2.3.3. PESO VOLUMÉTRICO SUELTO Y COMPACTO

Se calibro y obtuvo el factor en un metro cubico del recipiente, para el valor de 28 °C en la temperatura del agua, por lo tanto (MU) es:  $996.245 \text{ kg/m}^3$ , el peso de la masa del agua (MA) es 4.838 kg (Tabla 3.16).

Tabla. 3.16. Determinación del peso volumétrico suelto.

NMX-C-073-ONNCCE-2004																																								
Peso volumetrico Seco suelto y compacto de la gravilla.																																								
<p>F= MU/MA</p> <p>F= Factor de un metro cubico</p> <p>MU= la masa unitaria del agua que se obtiene de la tabla</p> <p>MA= masa de agua requerida para llenar el recipiente en kg.</p>																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>K</th> <th>C°</th> <th>MU (KG/M3)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>273-285</td><td>0-12</td><td>1000</td></tr> <tr><td>288</td><td>15</td><td>999.1</td></tr> <tr><td>291</td><td>18</td><td>998.58</td></tr> <tr><td>294</td><td>21</td><td>997.95</td></tr> <tr><td>296</td><td>23</td><td>997.5</td></tr> <tr><td>297</td><td>24</td><td>997.3</td></tr> <tr><td>300</td><td>27</td><td>996.52</td></tr> <tr><td>302</td><td>29</td><td>995.97</td></tr> <tr><td>303</td><td>30</td><td>995.75</td></tr> </tbody> </table>	K	C°	MU (KG/M3)	273-285	0-12	1000	288	15	999.1	291	18	998.58	294	21	997.95	296	23	997.5	297	24	997.3	300	27	996.52	302	29	995.97	303	30	995.75	<p>Interpolación</p> <table> <tr> <td>C°</td> <td>MU=Kg/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>27 C°</td> <td>996.52</td> </tr> <tr> <td>28 C°</td> <td>996.245</td> </tr> <tr> <td>29 C°</td> <td>995.97</td> </tr> </table>	C°	MU=Kg/m <sup>3</sup>	27 C°	996.52	28 C°	996.245	29 C°	995.97	
K	C°	MU (KG/M3)																																						
273-285	0-12	1000																																						
288	15	999.1																																						
291	18	998.58																																						
294	21	997.95																																						
296	23	997.5																																						
297	24	997.3																																						
300	27	996.52																																						
302	29	995.97																																						
303	30	995.75																																						
C°	MU=Kg/m <sup>3</sup>																																							
27 C°	996.52																																							
28 C°	996.245																																							
29 C°	995.97																																							
<b>Prueba 1</b>																																								
F=	205.921 kg.																																							
MU=	996.245 kg.																																							
MA=	4.838 kg.																																							
<b>Prueba 1: 28C°</b>																																								
Recipiente: 3948 gr.																																								
Recipiente + vidrio=: 4628 g.																																								
Recipiente+ vidrio+ agua= 9466 g.																																								
MA=	4838	g.																																						
Peso Volumetrico Seco Suelto																																								
<p>P.V.S.S. = Wm x F =</p> <p>Wm= peso de la muestra menos el recipiente</p> <p style="text-align: center;"><b>Prueba 1:</b></p> <p>Wm= 5.902 kg.</p> <p>P.V.S.S.= 1215.34 kg.</p>																																								

3.2.3.4. PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO

Se determinó vaciando el agregado previamente homogenizado en un recipiente de volumen y peso conocido, a una altura de 50 mm sobre el borde del recipiente, su distribución fue uniforme para evitar la segregación del material, con ayuda del enrasador se realizó un corte horizontal para uniformizar el material (Fig. 3.19), posteriormente se registro el peso (Tabla 3.17). Se aplicó la fórmula de la siguiente tabla.

Tabla. 3.17. Peso volumétrico seco suelto de la gravilla.

Peso Volumetrico Seco Suelto Promedio	
P.V.S.C. = $W_m \times F =$	
F= factor de un metro cubico.	
Wm= peso de la muestra menos el recipiente	
Wm=	6.087 kg.
P.V.S.S.=	1253.440 kg.



Fig. 3.19. Enrasado del material y registro del peso de la gravilla.

### 3.2.3.5. PESO VOLUMÉTRICO SECO COMPACTO

Se determinó llenando el recipiente en 3 capas, cada una compactada con 25 varilladas, finalmente se enraso el material para dejarlo uniforme (Fig. 3.20). Se pesa el material en la báscula y se realiza la ecuación (Tabla 3.18).

Tabla. 3.18. Peso volumétrico seco compacto de la gravilla.

Peso Volumetrico Compacto Promedio	
P.V.S.C. = $W_m \times F =$	
F= factor de un metro cubico.	
Wm= peso de la muestra menos el recipiente	
<b>Prueba:</b>	
Wm=	6.8490 kg.
P.V.S.C.=	1410.352 kg.



Fig. 3.20. Compactado de la gravilla con varillado.

### 3.2.4. PET

El material pasó por un proceso de cuarteo para homogenizarlo y seleccionar la muestra para la realización de las pruebas (Fig. 3.21). Se pasó por los tamices, 3/8", 1/4", #4, #8, #16, #30, #50, #100 y #200 (Tabla. 3.19). Se determinó la granulometría del PET para posteriormente seleccionar el tamaño a utilizar, que será lo que pase la malla 1/4 en adelante, para que sea semejante al tamaño de la arena.



Fig. 3.21. Cuarteo, cribado y granulometría del PET.

Tabla. 3.19. Granulometría del triturado de PET.

GRANULOMETRÍA TRITURADO DE PET PROMEDIO						
Muestra: 250 gr.						
N° de Tamiz	Abertura (mm)	Masa de suelo retenido ( g )	Porcentaje retenido	Porcentaje que pasa	N° de Tamiz	Peso acumulado en g
3/8	9.50 mm	0	0.0%	100.00%	3/8	0.00
1/4	6.30 mm	1	0.4%	99.60%	1/4	1.00
4	4.75 mm	45.33	18.1%	81.47%	4	45.33
8	2.36 mm	193.33	77.3%	4.13%	8	193.33
16	1.18 mm	9.33	3.7%	0.40%	16	9.33
30	0.60 mm	1	0.4%	0.00%	30	1.00
50	0.30 mm	0	0.0%	0.00%	50	0.00
100	0.15 mm	0	0.0%	0.00%	100	0.00
200	0.075 mm	0	0.0%	0.00%	200	0.00
Fondo	-	0	0.0%	0.00%	Fondo	0.00
		250	100%			

1%		
Porcentaje permitido de perdida:	250.00 gr	100%
	2.50 gr	1%

### 3.3. DISEÑO DE LA MEZCLA

El diseño de la mezcla para bloques es libre, debido a que no hay una norma que determine las proporciones a utilizar, sin embargo debe pasar las pruebas que se determinan en la NMX-C-404-ONNCCE-2012.

Se determinó utilizar una proporción 1:5:3 de cemento, arena y gravilla, esto con base en recomendaciones de expertos de la zona de Chetumal, donde se utilizan los siguientes porcentajes: 60% arena y 40% Gravilla.

Se sustituyó una parte de la arena por sascab, con los cuales se crearon dos proporciones de mezcla, el primero 1:4:1:3 (cemento, arena, sascab y gravilla) (Tabla 3.20), la segunda proporción fue de 1:3:2:3 (cemento, arena, sascab y gravilla) (Tabla 3.21), se realizaron morteros y se aplicaron las pruebas correspondientes, se obtuvo los resultados de las mezclas y de esta forma se determinó el diseño utilizado.

### CAPITULO III. TRABAJO DE CAMPO

Tabla. 3.20. Cantidades de los materiales, proporción 1:4:1:3.

Proporción a utilizar:		1:4:1:3	
Peso por M <sup>3</sup>		(kg/m <sup>3</sup> )	Total (kg/m <sup>3</sup> )
1	Cemento	1440.00	1440.00
4	Arena	1562.34	6249.36
1	Sascab	916.18	916.18
3	Gravilla	1253.44	3760.32

Tabla. 3.21. Cantidades de los materiales, proporción 1:3:2:3.

Proporción a utilizar:		1:3:2:3	
Peso por M <sup>3</sup>		kg/m <sup>3</sup>	Total (kg/m <sup>3</sup> )
1	Cemento	1440.00	1440.00
3	Arena	1562.34	4687.02
2	Sascab	916.18	1832.36
3	Gravilla	1253.44	3760.32



Fig. 3.22. Mezcla de los materiales y elaboración de cubos con sus porcentajes de PET.

Se elaboraron 5 cubos como muestras, con dimensiones de 5x5x5 centímetros, los cuales se sometieron a pruebas de absorción y compresión (Fig. 3.22). La prueba de absorción consistió en saturar con agua las muestras por 24 horas, se determinó el peso. Después las muestras se metieron al horno a una temperatura de 110°C como lo marca la norma NMX-C-037-ONNCCE-2013, transcurrida las 24 horas se retiraron las muestras, se registró el peso y se realizó la fórmula para determinar el porcentaje de absorción. El porcentaje de absorción máximo permitido es de 12% (Fig. 3.23).

Tipo de material	Absorción inicial para muros expuestos al exterior g / (cm <sup>2</sup> ·x·min <sup>1/2</sup> )	Absorción inicial para muros interiores o con recubrimiento g / (cm <sup>2</sup> ·x·min <sup>1/2</sup> )	Absorción total en 24 h en porcentaje
Concreto	5	7.5	12
Arcilla artesanal	-	-	23
Arcilla extruida o prensada	5	7.5	19

Fig. 3.23. Tabla de valores máximos de absorción inicial y absorción total de agua en 24 horas. Fuente: NMX--C-037-ONNCCE-2013.

La fórmula de absorción total consiste en comparar el peso seco con el peso húmedo para poder determinar el porcentaje de absorción (Fig. 3.24 y 3.25).

**Absorción total en 24 h**

$$A = \frac{M_{sss} - M_s}{M_{sss} - M_a} \times 1000$$

Donde:

- A es el volumen de agua absorbida referido al volumen aparente del espécimen en dm<sup>3</sup> /m<sup>3</sup>.
- M<sub>s</sub> es la masa seca del espécimen en g
- M<sub>sss</sub> es la masa saturada y superficialmente seca en g
- M<sub>a</sub> es la masa del espécimen sumergido en agua en g

El factor 1000 se usa para presentar el resultado en dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>  
(equivale a litros por m<sup>3</sup>)

**Absorción en porcentaje en 24 h**

$$A = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} \times 100\%$$

Fig. 3.24. Determinación de la absorción total. Fuente: NMX-C-037-ONNCCE-2013.

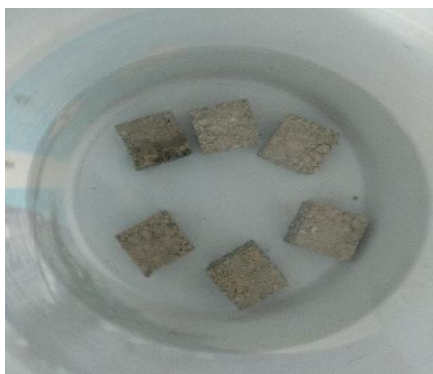


Fig. 3.25. Muestras de cubos saturados en agua.



### CAPITULO III. TRABAJO DE CAMPO

Se muestran los resultados de la prueba de absorción (Tabla 3.22) y compresión (Tabla 3.23), correspondiente a la proporción 1:3:2:3. Se muestra un ejemplo de prueba a compresión (Fig. 3.26).

Tabla. 3.22. Tabla de resultados de absorción, proporción 1:3:2:3.

<b>ABSORCION 1:3:2:3</b>					
	<b>% PET</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>
Muestras	1	268 gr.	270 gr.	235 gr.	229 gr.
	2	259 gr.	265 gr.	245 gr.	230 gr.
	3	267 gr.	264 gr.	238 gr.	230 gr.
	4	259 gr.	260 gr.	233 gr.	232 gr.
	5	258 gr.	261 gr.	242 gr.	230 gr.
<b>Promedio:</b>		262.2 gr.	264.0 gr.	238.6 gr.	230.2 gr.

<b>MUESTRA SECA 1:3:2:3</b>					
	<b>% PET</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>
Muestras	1	243 gr.	246 gr.	211 gr.	204 gr.
	2	233 gr.	241 gr.	221 gr.	207 gr.
	3	242 gr.	238 gr.	214 gr.	205 gr.
	4	233 gr.	235 gr.	208 gr.	207 gr.
	5	232 gr.	238 gr.	218 gr.	206 gr.
<b>Promedio:</b>		236.6 gr.	239.6 gr.	214.4 gr.	205.8 gr.

<b>% DE ABSORCIÓN:</b>	10.82%	10.18%	11.29%	11.86%
------------------------	--------	--------	--------	--------

Tabla.3.23. Resultados de la resistencia a compresión, proporción 1:3:2:3.

<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN 1:3:2:3</b>					
	<b>% PET</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>
Muestras	1	80.36 kg/cm <sup>2</sup>	122.62 kg/cm <sup>2</sup>	63.07 kg/cm <sup>2</sup>	48.23 kg/cm <sup>2</sup>
	2	87.11 kg/cm <sup>2</sup>	130.84 kg/cm <sup>2</sup>	90.77 kg/cm <sup>2</sup>	62.57 kg/cm <sup>2</sup>
	3	83.10 kg/cm <sup>2</sup>	112.77 kg/cm <sup>2</sup>	73.96 kg/cm <sup>2</sup>	59.34 kg/cm <sup>2</sup>
	4	74.74 kg/cm <sup>2</sup>	102.30 kg/cm <sup>2</sup>	65.95 kg/cm <sup>2</sup>	53.79 kg/cm <sup>2</sup>
	5	93.44 kg/cm <sup>2</sup>	84.23 kg/cm <sup>2</sup>	82.12 kg/cm <sup>2</sup>	55.19 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Promedio:</b>		85.33 kg/cm <sup>2</sup>	110.55 kg/cm <sup>2</sup>	75.17 kg/cm <sup>2</sup>	55.82 kg/cm <sup>2</sup>



Fig. 3.26. Prueba a compresión de la proporción 1:3:2:3.

A continuación se muestran los resultados de la prueba de absorción (Tabla 3.24) y compresión (Tabla 3.25), correspondiente a la proporción 1:4:1:3. Se muestra un ejemplo de prueba a compresión (Fig. 3.27).

Tabla. 3.24. Resultados de absorción, proporción 1:4:1:3.

Proporción 1:4:1:3					
ABSORCION 1:4:1:3					
	% PET	0	5	10	15
Muestras	1	273 gr.	268 gr.	252 gr.	239 gr.
	2	279 gr.	264 gr.	250 gr.	239 gr.
	3	259 gr.	272 gr.	249 gr.	237 gr.
	4	264 gr.	249 gr.	246 gr.	239 gr.
	5	263 gr.	269 gr.	247 gr.	239 gr.
<b>Promedio:</b>		267.6 gr.	264.4 gr.	248.8 gr.	238.6 gr.
MUESTRA SECA 1:4:1:3					
	% PET	0	5	10	15
Muestras	1	250 gr.	245 gr.	230 gr.	214 gr.
	2	256 gr.	240 gr.	226 gr.	214 gr.
	3	236 gr.	248 gr.	224 gr.	210 gr.
	4	241 gr.	226 gr.	223 gr.	213 gr.
	5	241 gr.	246 gr.	224 gr.	214 gr.
<b>Promedio:</b>		244.8 gr.	241.0 gr.	225.4 gr.	213.0 gr.
<b>% DE ABSORCIÓN:</b>		9.31%	9.71%	10.38%	12.02%

Tabla.3.25. Resultados de resistencia a compresión, proporción 1:4:1:3.

RESISTENCIA A COMPRESIÓN 1:4:1:3					
	% PET	0	5	10	15
Muestras	1	117.27 kg/cm <sup>2</sup>	98.00 kg/cm <sup>2</sup>	73.47 kg/cm <sup>2</sup>	30.37 kg/cm <sup>2</sup>
	2	133.80 kg/cm <sup>2</sup>	82.00 kg/cm <sup>2</sup>	69.89 kg/cm <sup>2</sup>	32.97 kg/cm <sup>2</sup>
	3	92.24 kg/cm <sup>2</sup>	95.20 kg/cm <sup>2</sup>	70.80 kg/cm <sup>2</sup>	37.76 kg/cm <sup>2</sup>
	4	131.41 kg/cm <sup>2</sup>	72.00 kg/cm <sup>2</sup>	65.39 kg/cm <sup>2</sup>	26.79 kg/cm <sup>2</sup>
	5	114.60 kg/cm <sup>2</sup>	72.80 kg/cm <sup>2</sup>	62.93 kg/cm <sup>2</sup>	35.51 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Promedio:</b>		117.86 kg/cm <sup>2</sup>	84.00 kg/cm <sup>2</sup>	68.50 kg/cm <sup>2</sup>	32.68 kg/cm <sup>2</sup>



Fig. 3.27. Prueba a compresión de la proporción 1:4:1:3.

Se realizó una tabla de eficiencia (Tabla 3.26) para comparar ambas proporciones y de esta manera determinar cuál proporción es más conveniente para la elaboración de los bloques, la tabla de eficiencia se obtuvo dividiendo la densidad entre la resistencia obtenida de cada muestra, siendo la proporción 1:3:2:3 la más adecuada para la elaboración de los bloques huecos.

Tabla. 3.26. Eficiencia de ambas proporciones.

Eficiencia				
Proporción 1:3:2:3				
	0%	5%	10%	15%
Densidad	262.20 gr.	264.00 gr.	238.60 gr.	230.20 gr.
Resistencia	85.33 kg/cm <sup>2</sup>	110.55 kg/cm <sup>2</sup>	75.17 kg/cm <sup>2</sup>	55.82 kg/cm <sup>2</sup>
Eficiencia	3.07	2.39	3.17	4.12
Proporción 1:4:1:3				
	0%	5%	10%	15%
Densidad	267.60 gr.	264.40 gr.	248.80 gr.	238.60 gr.
Resistencia	117.86 kg/cm <sup>2</sup>	84.00 kg/cm <sup>2</sup>	68.50 kg/cm <sup>2</sup>	32.68 kg/cm <sup>2</sup>
Eficiencia	2.27	3.15	3.63	7.30

### 3.4. GENERADORES

Una vez determinada la proporción a utilizar, se realizaron los generadores (Tabla 3.27) para determinar las cantidades de material a utilizar para cada muestra.

Tabla. 3.27. Generadores que determinan la cantidad de material a utilizar.

<b>Proporción a utilizar:</b>	<b>1:3:2:3</b>
-------------------------------	----------------

Peso por M <sup>3</sup>			Total
1	Cemento	1440.000 kg/m <sup>3</sup>	1440.000 kg/m <sup>3</sup>
3	Arena	1562.340 kg/m <sup>3</sup>	4687.020 kg/m <sup>3</sup>
2	Sascab	916.182 kg/m <sup>3</sup>	1832.364 kg/m <sup>3</sup>
3	Gravilla	1253.440 kg/m <sup>3</sup>	3760.320 kg/m <sup>3</sup>

<b>1 m<sup>3</sup> =</b>	<b>1000 L.</b>
--------------------------	----------------

Peso por M3			Litro
1	Cemento	1440.000 kg/m <sup>3</sup>	1.440 Kg
3	Arena	1562.340 kg/m <sup>3</sup>	1.562 Kg
2	Sascab	916.182 kg/m <sup>3</sup>	0.916 Kg
3	Gravilla	1253.440 kg/m <sup>3</sup>	1.253 Kg

#### Cantidad de materiales para elaboración de Bloques (15 Pzas.)

% PET	Cemento	Arena	Sascab	Cal	Gravilla	12% de Agua	PET
0	25.92 kg	84.37 kg	32.98 kg	0.99 kg	67.69 kg	25.43 kg	-
5	25.92 kg	81.43 kg	30.05 kg	0.90 kg	67.69 kg	25.42 kg	5.87 kg
10	25.92 kg	78.50 kg	27.12 kg	0.81 kg	67.69 kg	25.41 kg	11.73 kg
15	25.92 kg	75.57 kg	24.18 kg	0.73 kg	67.69 kg	25.40 kg	17.60 kg

### 3.5. ELABORACIÓN DE LOS BLOQUES

Para agilizar el proceso de la elaboración de bloques, con las tablas de los generadores se procedió a pesar todos los materiales requeridos (Fig. 3.28), para posteriormente mezclarlos en la revolvedora y guardarlos en sacos, debido a que el proceso de elaboración se realizaría en la bloquera. Los elementos como el cemento y el agua se añadieron en la bloquera y se mezclaron con una revolvedora (Fig. 3.29), se procedió a la elaboración de los bloques con la vibro compactadora (Fig. 3.30).



Fig. 3.28. Mezcla, empackado y transporte de los materiales.



Fig. 3.29. Mezcla de los materiales con los elementos faltantes del cemento y el agua.



Fig. 3.30. Vibro compactado para la elaboración de los bloques.

### CAPITULO IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS

#### 4.1. ANÁLISIS DE LA ESTABILIZACIÓN DEL SASCAB

La geología de la península se caracteriza por la poca existencia de suelo y está constituida por sedimentos calcáreos de origen marino. El suelo de esta región se compone de una caliza dura la cual es formada por la solución y precipitación de carbonato de calcio. Existen calizas blandas con el nombre de sascab, nombre maya que significa tierra blanca. Esto es un rasgo característico de la litología del estado de Quintana Roo, la cual se determina como una caliza coquinoidal (Durán García & Méndez González, 2010).

Para la estabilización de suelos se utiliza cal la cual es un óxido de calcio obtenido de la calcinación de la piedra caliza. Debido a los altos contenidos de sedimentos calcáreos en el suelo del estado de Quintana Roo y con base a la prueba de estabilización realizada con la norma ASTM D6276 nos determinó un porcentaje bajo de cal para su estabilización, el cual corresponde al 3%. Esto debido a los componentes del suelo y al hecho de ser un material calizo.

#### 4.2. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

La norma NMX-C-404-ONNCCE-2012 determina que para bloques de uso estructural su resistencia mínima es de 60 kg/cm<sup>2</sup>, obteniendo los resultados promedios de la resistencia a compresión (Tabla 4.1) aplicadas a los bloques elaborados con y sin PET.

## CAPITULO IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Tabla. 4.1. Resultados de la prueba de resistencia a compresión.

Compresion								
PET	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Celdas (3)	Area efectiva	Carga Maxima	Resistencia a compresion	Promedio
0%	39.8	14.5	19	9.5*9.2	314.90 cm <sup>2</sup>	14970.00 kg/cm <sup>2</sup>	47.54 kg/cm <sup>2</sup>	52.88 kg/cm <sup>2</sup>
	39.7	14.5	19.3	9.5*9.2	313.45 cm <sup>2</sup>	17810.00 kg/cm <sup>2</sup>	56.82 kg/cm <sup>2</sup>	
	39.8	14.5	19.4	9.5*9.2	314.90 cm <sup>2</sup>	17540.00 kg/cm <sup>2</sup>	55.70 kg/cm <sup>2</sup>	
	39.5	14.5	19.5	9.5*9.2	310.55 cm <sup>2</sup>	14990.00 kg/cm <sup>2</sup>	48.27 kg/cm <sup>2</sup>	
	39.5	14.5	19	9.5*9.2	310.55 cm <sup>2</sup>	17420.00 kg/cm <sup>2</sup>	56.09 kg/cm <sup>2</sup>	
5%	39.6	14.5	19.2	9.5*9.2	312.00 cm <sup>2</sup>	15190.00 kg/cm <sup>2</sup>	29.81 kg/cm <sup>2</sup>	34.89 kg/cm <sup>2</sup>
	39.5	14.5	19.4	9.5*9.2	310.55 cm <sup>2</sup>	10050.00 kg/cm <sup>2</sup>	32.84 kg/cm <sup>2</sup>	
	39.5	14.5	19.5	9.5*9.2	310.55 cm <sup>2</sup>	10520.00 kg/cm <sup>2</sup>	32.14 kg/cm <sup>2</sup>	
	39.5	14.5	19.5	9.5*9.2	310.55 cm <sup>2</sup>	11510.00 kg/cm <sup>2</sup>	45.89 kg/cm <sup>2</sup>	
	39.5	14.5	19	9.5*9.2	310.55 cm <sup>2</sup>	14600.00 kg/cm <sup>2</sup>	33.78 kg/cm <sup>2</sup>	
10%	39.8	14.5	19	9.5*9.2	314.90 cm <sup>2</sup>	12610.00 kg/cm <sup>2</sup>	40.04 kg/cm <sup>2</sup>	47.63 kg/cm <sup>2</sup>
	39.7	14.5	19.5	9.5*9.2	313.45 cm <sup>2</sup>	15540.00 kg/cm <sup>2</sup>	49.58 kg/cm <sup>2</sup>	
	39.6	14.5	19	9.5*9.2	312.00 cm <sup>2</sup>	16540.00 kg/cm <sup>2</sup>	53.01 kg/cm <sup>2</sup>	
	39.6	14.5	19	9.5*9.2	312.00 cm <sup>2</sup>	15000.00 kg/cm <sup>2</sup>	48.08 kg/cm <sup>2</sup>	
	39.5	14.5	19	9.5*9.2	310.55 cm <sup>2</sup>	14730.00 kg/cm <sup>2</sup>	47.43 kg/cm <sup>2</sup>	
15%	39.6	14.5	19	9.5*9.2	312.00 cm <sup>2</sup>	9300.00 kg/cm <sup>2</sup>	29.81 kg/cm <sup>2</sup>	34.62 kg/cm <sup>2</sup>
	39.7	14.5	19.3	9.5*9.2	313.45 cm <sup>2</sup>	10200.00 kg/cm <sup>2</sup>	32.54 kg/cm <sup>2</sup>	
	39.8	14.5	19	9.5*9.2	314.90 cm <sup>2</sup>	9980.00 kg/cm <sup>2</sup>	31.69 kg/cm <sup>2</sup>	
	39.7	14.5	19.2	9.5*9.2	313.45 cm <sup>2</sup>	14250.00 kg/cm <sup>2</sup>	45.46 kg/cm <sup>2</sup>	
	39.6	14.5	19.4	9.5*9.2	312.00 cm <sup>2</sup>	10490.00 kg/cm <sup>2</sup>	33.62 kg/cm <sup>2</sup>	
Bloques de la region de Chetumal	39.6	14.5	19	9.5*9.2	312.00 cm <sup>2</sup>	12610.00 kg/cm <sup>2</sup>	40.42 kg/cm <sup>2</sup>	49.06 kg/cm <sup>2</sup>
	39.5	14.5	19.5	9.5*9.2	310.55 cm <sup>2</sup>	19880.00 kg/cm <sup>2</sup>	64.02 kg/cm <sup>2</sup>	
	39.5	14.5	19	9.5*9.2	310.55 cm <sup>2</sup>	13590.00 kg/cm <sup>2</sup>	43.76 kg/cm <sup>2</sup>	
	39.7	14.5	19.5	9.5*9.2	313.45 cm <sup>2</sup>	14810.00 kg/cm <sup>2</sup>	47.25 kg/cm <sup>2</sup>	
	39.6	14.5	19.4	9.5*9.2	312.00 cm <sup>2</sup>	15550.00 kg/cm <sup>2</sup>	49.84 kg/cm <sup>2</sup>	

Los resultados demostraron que los bloques elaborados con y sin PET además de los bloques muestra no cumplen con la resistencia a compresión establecida en la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012 (Fig. 4.1). De los diseños de mezcla elaborados el mejor resultado a compresión lo obtuvo la mezcla que no contiene agregado fino de PET con una resistencia de 52.88 kg/cm<sup>2</sup>, seguidos por los bloques de la región con una resistencia de 49.06 kg/cm<sup>2</sup>, los bloques con 10% de PET con 47.63 kg/cm<sup>2</sup>, los bloques con 5% con una resistencia de 34.89 kg/cm<sup>2</sup> y por último los del 15% de PET con una resistencia de 34.62 kg/cm<sup>2</sup>.

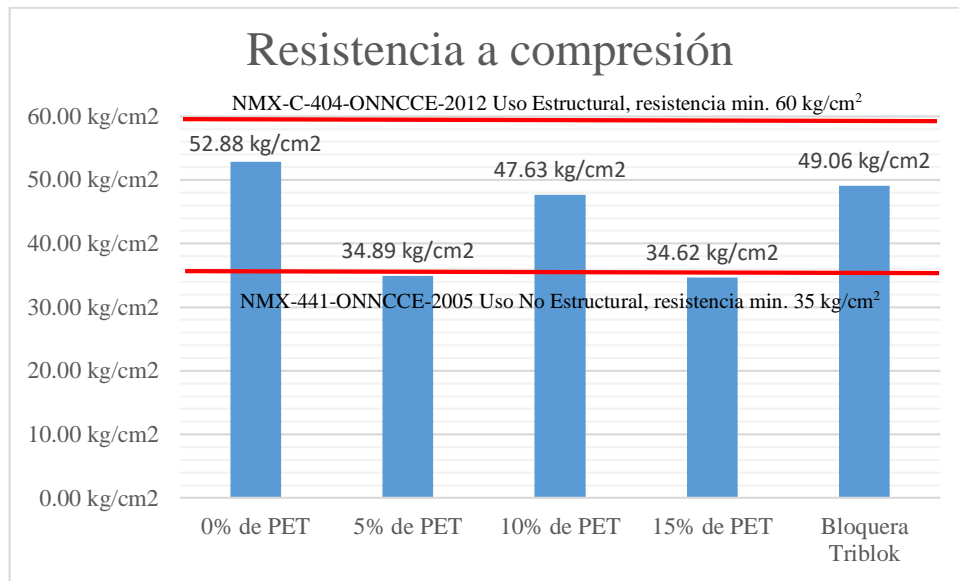


Fig.4.1. Resistencia a compresión de los bloques.

A pesar de no cumplir con la resistencia a compresión mínima establecida por la NMX-C-404-ONNCCE-2012 (Fig. 4.2), se obtuvo una mejora en la resistencia al utilizar sascab sin agregado fino de PET con un aumento de la resistencia del 3.82 kg/cm<sup>2</sup> en comparación con los elaborados en la bloquera de la región, mismo lugar donde se realizaron los bloques de esta investigación. Los bloques elaborados con 10% de PET y los bloques muestra cumplen con la norma NMX-441-onncce-2005 de uso no estructural, podrían competir con los de la región debido a que la diferencia en resistencia a compresión es de 1.43 kg/cm<sup>2</sup>.



Fig. 4.2. Colocación de las placas para aplicación de la prueba de compresión.



Según las investigaciones los resultados de la resistencia a compresión de los bloques deberían haber disminuido gradualmente conforme al aumento del PET, como lo mencionan los siguientes autores:

- El deterioro de las propiedades del hormigón se intensifican al aumentar el contenido de PET, esto se demostró en un estudio donde las diferencias del tamaño, la forma y la textura del PET modifican la relación agua/cemento, cambiando su comportamiento mecánico (Saikia & De Brito, 2014).
- El aumentar el porcentaje de PET y el tamaño de partícula influyen en la disminución de resistencia a compresión, tracción y módulo de elasticidad (Albano, Camacho, Hernández, Matheus, & Gutiérrez, 2009).
- El uso de residuos PET mejora el aislamiento térmico en el concreto debido a que se vuelve poroso, sin embargo, el aumento del porcentaje disminuye su resistencia a compresión. La influencia no solo es en la cantidad sino en el tamaño de partícula entre mayor sea la partícula su porosidad aumenta y su resistencia disminuye (Yesilata, Isiker, & Turgut, 2009).

Sin embargo, el comportamiento del diseño de la mezcla es diferente por la sustitución de los agregados finos, en donde una parte de la arena fue sustituida por sascab el cual utilizaban los mayas como un aglutinante. El uso de sascab en la sustitución tuvo un beneficio en los bloques testigo sin triturado fino de PET, con una resistencia a compresión de  $52.88 \text{ kg/cm}^2$  que está por encima de la resistencia de los bloques de la región con un resultado de  $49.06 \text{ kg/cm}^2$ . Los resultados de las resistencias a compresión de los bloques con 5% de PET disminuyen la resistencia a compresión en  $34.89 \text{ kg/cm}^2$ , se esperaría que la resistencia a compresión disminuyera gradualmente como se menciona en algunas investigaciones pero la resistencia con 10% de PET aumentó a  $47.63 \text{ kg/cm}^2$  y con 15% disminuye a  $34.62 \text{ kg/cm}^2$ .

Se crea un efecto de parábola inversa en los resultados, podría significar que se encontró el equilibrio adecuado entre el porcentaje de PET y sascab o podría influir el hecho de que para los porcentajes del 10% y 15% los diseños de mezcla exigía un aumento del 1% de agua, cuando el cálculo inicial se había establecido en 12%. Esto podría haber mejorado la trabajabilidad de la mezcla y aumentando su revenimiento, influyendo en el momento del vibro compactado

## CAPITULO IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS

creando un material más homogéneo que permite la disminución de su porosidad, el cual se ve reflejado en los resultados de absorción que se muestran en el capítulo 4.3.

### 4.3. RESULTADOS DE ABSORCIÓN

La norma NMX-C-037-ONNCCE-2005 determina que la absorción máxima para bloques de concreto es de 12% (Tabla 4.2).

Tabla. 4.2. Absorción de los bloques.

Absorción				
			Maxima 12%	
PET	Peso Saturado	Peso Seco	Absorción	Promedio
0%	13.161	11.95	10.13%	9.60%
	13.173	11.93	10.42%	
	13.553	12.347	9.77%	
	13.971	12.857	8.66%	
	13.97	12.817	9.00%	
5%	13.031	11.855	9.92%	10.44%
	12.701	11.46	10.83%	
	12.933	11.754	10.03%	
	12.664	11.459	10.52%	
	12.634	11.39	10.92%	
10%	12.896	11.709	10.14%	10.41%
	12.419	11.25	10.39%	
	12.135	10.994	10.38%	
	13.026	11.898	9.48%	
	12.178	10.907	11.65%	
15%	12.87	11.762	9.42%	9.92%
	12.565	11.399	10.23%	
	12.809	11.672	9.74%	
	12.692	11.48	10.56%	
	12.734	11.612	9.66%	
Bloques de la region de Chetumal	14.84	13.845	7.19%	7.19%
	14.98	13.98	7.15%	
	14.51	13.505	7.44%	
	14.785	13.815	7.02%	
	15.335	14.31	7.16%	

Los bloques realizados en esta investigación y los elaborados en la región de Chetumal, Quintana Roo, cumplen con la prueba de absorción al no excederse del 12% establecido por la norma (Fig. 4.3). Aunque hubo un aumento en el porcentaje de absorción, la dosificación con mejor comportamiento fue la que no contiene PET con un 9.60% de absorción, el aumento de porcentaje entre la bloquera y el 0% de PET es de 2.41%.

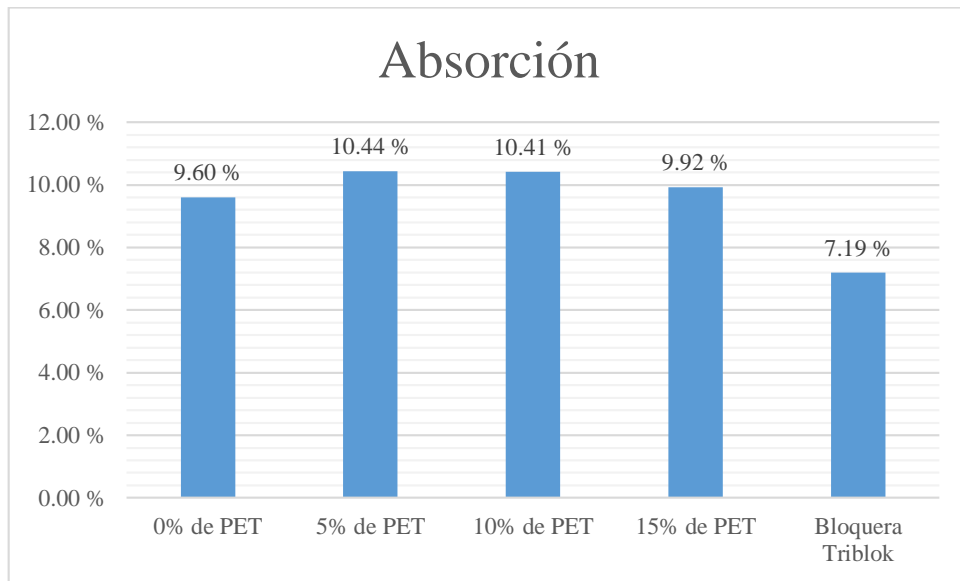


Fig.4.3. Porcentajes de absorción en los bloques.

En las mezclas correspondientes al 10 y 15 por ciento de triturado fino de PET, la absorción empieza a disminuir podría estar relacionado debido a que estas dos mezclas exigían un porcentaje mayor de agua.

En una investigación de concreto con agregado de PET, determino que la trabajabilidad aumentaba junto con el revenimiento (Siddique, Khatib, & Kaur, 2008). El aumentar el revenimiento y su trabajabilidad puede estar ligado a que sea una mezcla más homogénea y esto podría permitir que al momento de vibro compactar el material se acomodara de mejor manera eliminando poros en la fabricación de los bloques. Al eliminar poros se reduce el porcentaje de absorción, la resistencia a compresión aumenta como se ve en esta investigación con el resultado del 10% de PET.

Las investigaciones previas determinan que la resistencia a compresión baja gradualmente, sin embargo, en este caso no cumple debido al efecto campana antes mencionado, se puede observar que la resistencia a compresión entre los boques del 5% y 15% de PET hay una diferencia de 0.27 kg/cm<sup>2</sup>, el posible motivo por el cual no disminuyera drásticamente la resistencia a compresión puede estar ligada a su relación agua/cemento lo cual está relacionado con la porosidad, para continuar con la investigación se podría hacer un análisis micro estructural.

Existen investigaciones que determinan la relación entre la porosidad y su reducción de la conductividad térmica. Una investigación la cual creo un ladrillo con adiciones de papel reciclado del 0% al 30%, cumplió su objetivo de crear un ladrillo poroso y de reducir la conductividad térmica más del 50% en comparación con el ladrillo local, además que determino como recomendación que el crear una pieza perforada podría reducir más su conductividad térmica (Sutcu & Akkurt, 2009).

Se pueden hacer pruebas de conductividad térmica para seguir con la investigación con la hipótesis de que los bloques con 10% de PET tendrán una mejora en la conductividad térmica, debido al aumento de la porosidad el cual se puede observar en el aumento del porcentaje de absorción, donde la mezcla del 10% de PET obtuvo un 10.41% de absorción en comparación con el 7.19% de los bloques de la región, existe una diferencia del 3.22% el cual nos podría beneficiar en cuestiones de conductividad térmica.

#### **4.4. RESULTADOS DEL PESO DE LOS BLOQUES**

En la investigación sobre la evaluación de las resistencias mecánicas (compresión y cortante) de un mortero para aplanados con la sustitución parcial del agregado fino de PET, determina que entre mayor cantidad de PET mayor porosidad y menor peso. (González, 2013).

El peso de los bloques (Fig. 4.4) disminuyo en comparación con los bloques producidos en la región, debido al efecto campana antes mencionado en el capítulo 4.2. En el cual existe una relación de la proporción agua/cemento, debido al aumento de la demanda de agua en las mezclas del 10% y 15%. Generando as un aumento en el peso de los bloques del 15% de PET. Se logró una mejora en la reducción del peso el cual se podría ver reflejado en el rendimiento del trabajador, al facilitar el movimiento de las piezas.

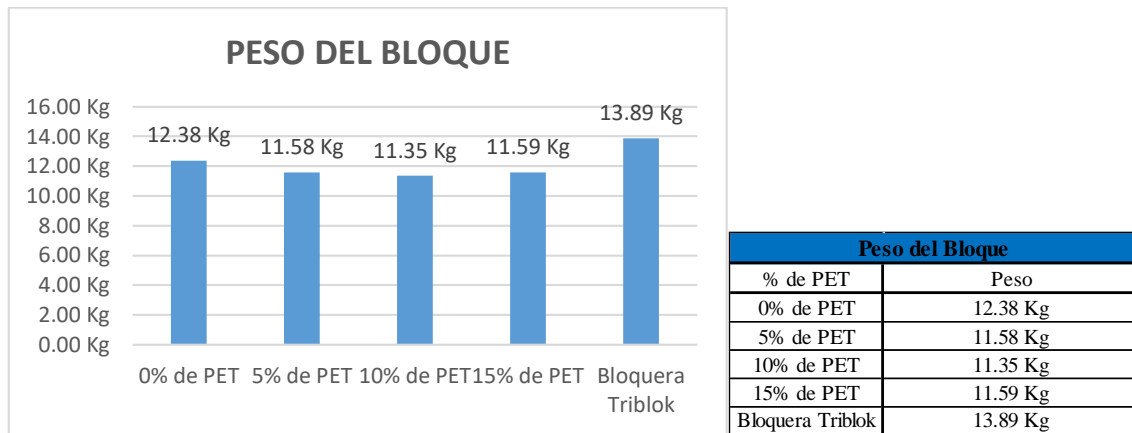


Fig. 4.4. Registro del peso de los bloques.

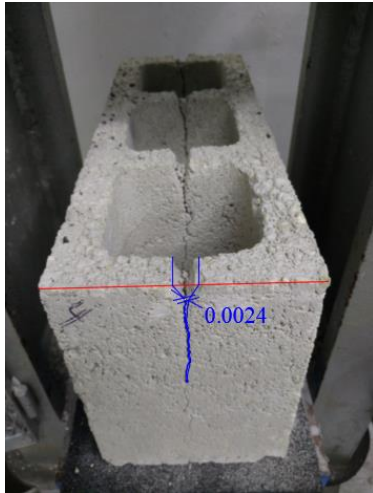
#### 4.5. TRAYECTORIA DE FRACTURA DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN.

La mayoría de las fisuras inician en la parte superior central de los bloques donde se encuentra una cavidad en forma triangular debido a los moldes de la vibro compactadora. Este espacio reduce el área bruta que es el área de trabajo efectiva del bloque y por lo tanto afecta la resistencia a compresión. Siendo el motivo por el cual las fallas inician en la parte superior central con fisuras en forma cónica, además de las fallas por desmoronamiento en las paredes laterales debido a la adherencia que podría haber sido afectada por el porcentaje de PET.

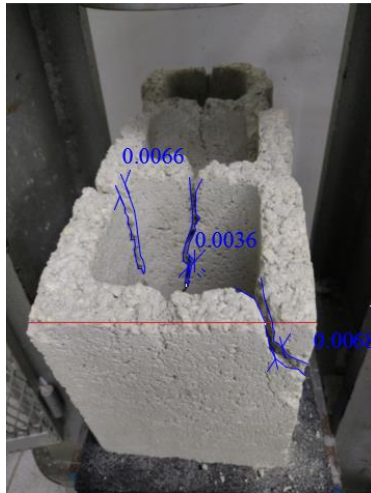
Se recomienda realizar un análisis micro estructural para observar la forma y el tamaño de los poros, esto nos ayudaría a determinar las posibles fallas del bloque.

4.5.1. BLOQUES TRIBLOK

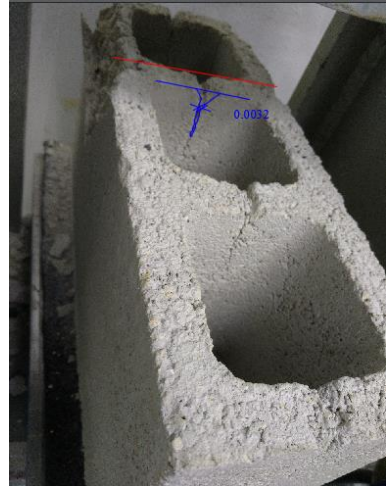
A continuación se observa las fracturas y sus dimensiones (Fig. 4.5).



Bloque Triblok N°1  
Fractura:  
Longitudinal en medio del bloque,  
separación 2.4 mm.



Bloque Triblok N°2  
Fractura:  
Longitudinal en medio del bloque,  
separación 3.6 mm.  
Fracturas laterales: separaciones de  
6.6 mm y 6.8 mm.



Bloque Triblok N°3  
Fractura:  
Longitudinal en medio del bloque,  
separación 3.2 mm.



Bloque Triblok N°4  
Fractura: Separado completamente por  
la mitad.

Fig. 4.5. Fallas en Bloques Triblok.

4.5.2. BLOQUES CON 0% DE PET

A continuación se observa las fracturas y sus dimensiones (Fig. 4.6)..

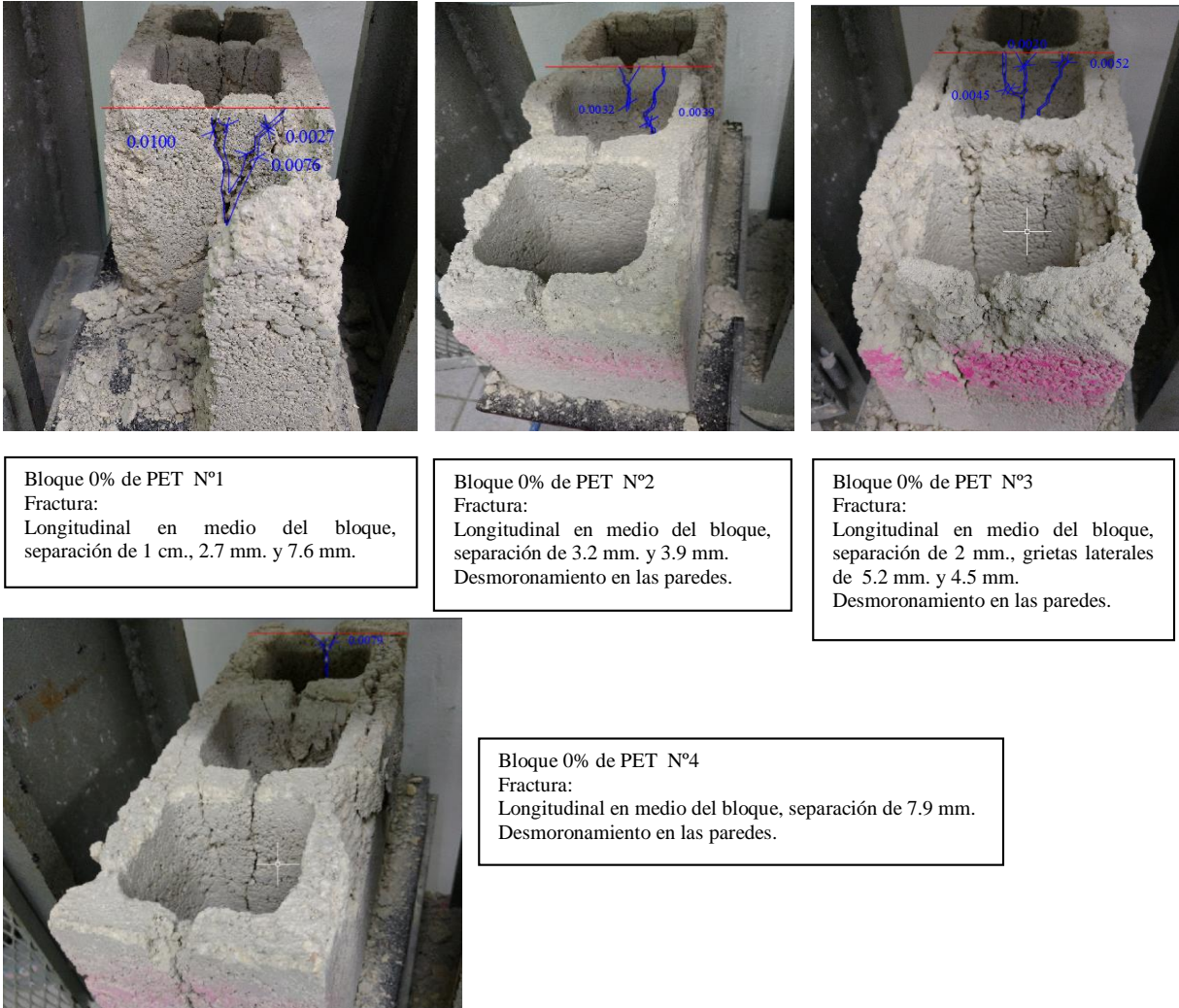


Fig. 4.6. Fisuras de los bloques con 0% de triturado fino de PET.

4.5.3. BLOQUES CON 5% DE PET

A continuación se observa las fracturas y sus dimensiones (Fig. 4.7).



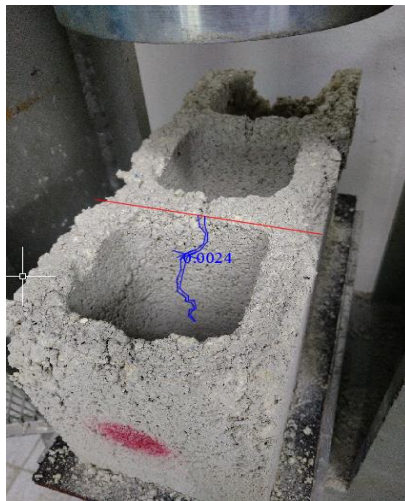
Bloque 5% de PET N°1  
Fractura:  
Longitudinal en medio del bloque,  
separación de 1.1



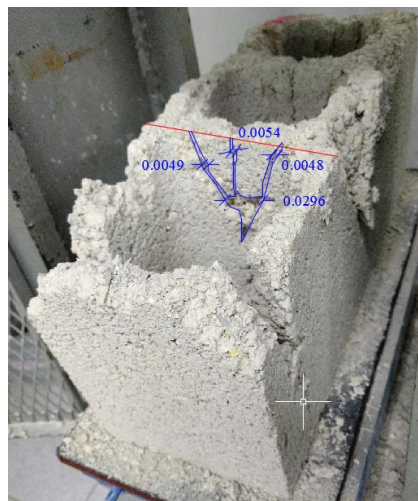
Bloque 5% de PET N°2  
Fractura:  
Separación de 8.7 mm.



Bloque 5% de PET N°3  
Fractura:  
Longitudinal en medio del bloque,  
Separación de 7.5 mm.



Bloque 5% de PET N°4  
Fractura:  
Separación de 2.4 mm.



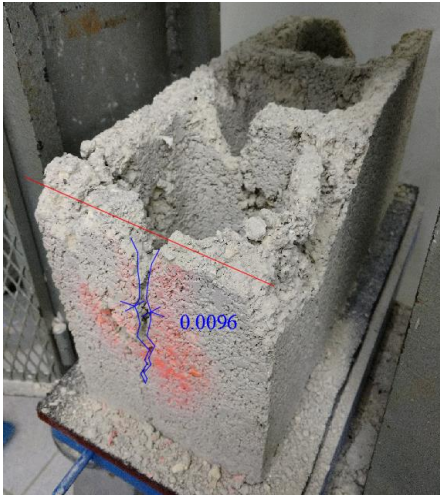
Bloque 5% de PET N°5  
Fractura:  
Separación central de 5.4 mm.  
Fracturas laterales, 4.9 y 4.8 mm.  
Fractura central, 2.96 cm.

Fig. 4.7. Fisuras de los bloques con 5% de triturado fino de PET.

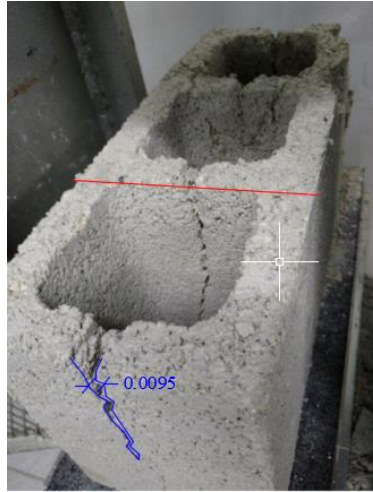


4.5.4. BLOQUES CON 10% DE PET

A continuación se observa las fracturas y sus dimensiones (Fig. 4.8).



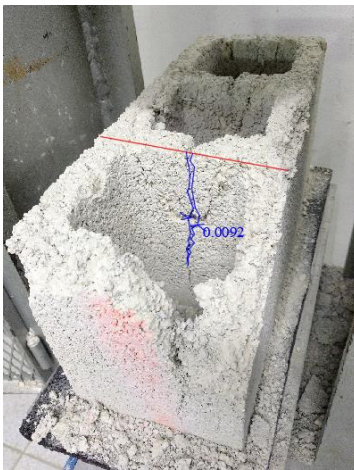
Bloque 10% de PET N°1  
Fractura:  
Longitudinal en medio del bloque, separación de 9.6 mm.



Bloque 10% de PET N°2  
Fractura:  
Longitudinal en medio del bloque, separación de 9.5 mm.



Bloque 10% de PET N°3  
Fractura:  
separación de 5 mm.



Bloque 10% de PET N°4  
Fractura:  
Longitudinal en medio del bloque, separación de 9.2 mm.

Fig. 4.8. Fisuras de los bloques con 10% de triturado fino de PET.

4.5.5. BLOQUES CON 15% DE PET

A continuación se observa las fracturas y sus dimensiones (Fig. 4.9).

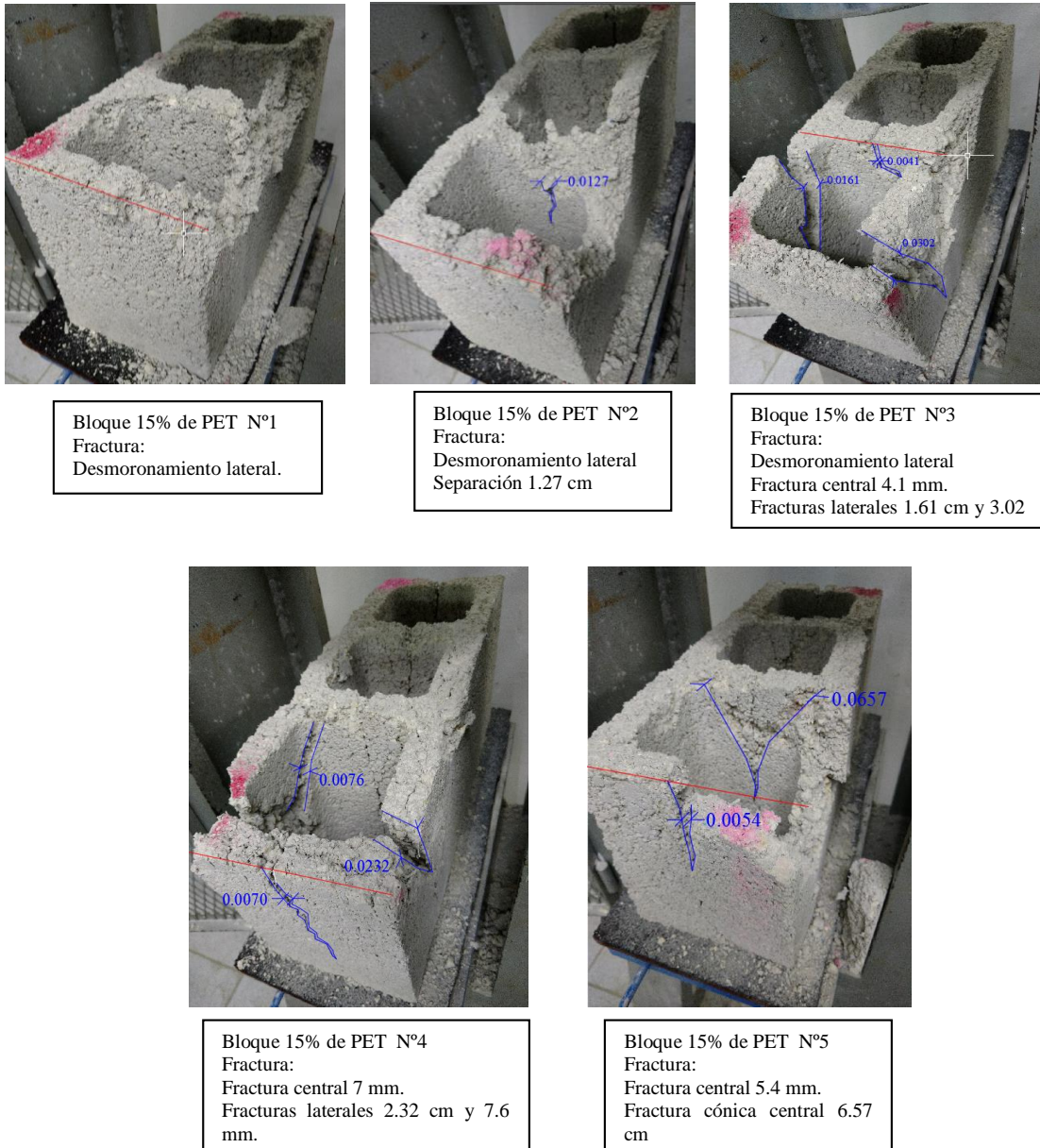


Fig. 4.9. Fisuras de los bloques con 15% de triturado fino de PET.

Los fallos de la resistencia a compresión predominan en el centro de los bloques donde se observa una relación entre el la fisuras y las cavidades en forma triangular debido a los moldes utilizados en la vibro compactadora de la bloquera, esto podría estar relacionado con la resistencia a compresión debido a la disminución de área efectiva. En la tabla siguiente se observa el área efectiva menos el área de las cavidades para determinar el área efectiva real (Tabla 4.3) y así poder determinar una resistencia a compresión real aproximada.

PET	Promedio Area efectiva	Menos el area de las cavidades	Area Real efectiva	Resistencia a compresion	Carga maxima	Resistencia a compresion	Resistencia a compresion Real	Aumento de la Resistencia a compresion
0%	312.87 cm <sup>2</sup>	15.00 cm <sup>2</sup>	297.87 cm <sup>2</sup>	52.88 kg/cm <sup>2</sup>	16546.00 kg/cm <sup>2</sup>	52.88 kg/cm <sup>2</sup>	55.55 kg/cm <sup>2</sup>	2.67 kg/cm <sup>2</sup>
5%	310.84 cm <sup>2</sup>	15.00 cm <sup>2</sup>	295.84 cm <sup>2</sup>	34.89 kg/cm <sup>2</sup>	12374.00 kg/cm <sup>2</sup>	34.89 kg/cm <sup>2</sup>	41.83 kg/cm <sup>2</sup>	6.94 kg/cm <sup>2</sup>
10%	312.58 cm <sup>2</sup>	15.00 cm <sup>2</sup>	297.58 cm <sup>2</sup>	47.63 kg/cm <sup>2</sup>	14884.00 kg/cm <sup>2</sup>	47.63 kg/cm <sup>2</sup>	50.02 kg/cm <sup>2</sup>	2.39 kg/cm <sup>2</sup>
15%	313.16 cm <sup>2</sup>	15.00 cm <sup>2</sup>	298.16 cm <sup>2</sup>	34.62 kg/cm <sup>2</sup>	10844.00 kg/cm <sup>2</sup>	34.62 kg/cm <sup>2</sup>	36.37 kg/cm <sup>2</sup>	1.75 kg/cm <sup>2</sup>
Bloques Triblok	311.71 cm <sup>2</sup>	15.00 cm <sup>2</sup>	296.71 cm <sup>2</sup>	49.06 kg/cm <sup>2</sup>	15288.00 kg/cm <sup>2</sup>	49.06 kg/cm <sup>2</sup>	51.53 kg/cm <sup>2</sup>	2.47 kg/cm <sup>2</sup>

Tabla. 4.3. Resistencia a compresión real.

El evitar esas cavidades en el diseño mejoraría la resistencia a compresión de todos los bloques, logrando que todos pasen como bloques no estructurales como lo marca la norma NMX-441-ONNCCE-2005 Bloques de uso No Estructural, al obtener una resistencia mayor a los 35 kg/cm<sup>2</sup> mínimos establecidos. El porcentaje de 10% de PET podría competir con los bloques de la región al tener una diferencia menor entre ellos, además de que los bloques sin porcentaje de PET se aproximan más a los 60 kg/cm<sup>2</sup> establecidos por la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012 para uso Estructural en comparación con los bloques de la región.

## CONCLUSIONES

Se comprobó que los bloques huecos con cemento, arena, sascab, gravilla y triturado fino de PET del 5 al 15% con una relación 1:3:2:3, no cumplieron con los estándares establecidos en la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012, sin embargo, se comprobó que los bloques muestra tampoco cumplen con la resistencia mínima establecida para considerarse un bloque de uso estructural. Por lo tanto los bloques muestra y los elaborados en esta investigación son considerados de uso no estructural, debido a que cumplen con la norma NMX-C-441-ONNCCE-2005.

Se obtuvieron las siguientes resistencias a compresión por orden descendiente, 0% de PET con 52.88 kg/cm<sup>2</sup>, bloques de la región de Chetumal con 49.06 kg/cm<sup>2</sup>, 10% de PET con 47.63 kg/cm<sup>2</sup>, 5% de PET con 34.89 kg/cm<sup>2</sup> y 15% de PET con 34.62 kg/cm<sup>2</sup>. Aunque no se cumplió con la hipótesis planteada al inicio de la investigación, dentro de las dosificaciones propuestas se obtuvo una mejora en la resistencia a compresión pero sin la sustitución de agregado fino por PET, una mejora de 3.82 kg/cm<sup>2</sup> con respecto a los bloques de la región.

Los bloques con 10% de PET con una resistencia a compresión de 47.63 kg/cm<sup>2</sup> podrían competir con los bloques elaborados en la región los cuales tienen una resistencia a compresión de 49.06 kg/cm<sup>2</sup>, se encuentran en el mismo rango con una diferencia de 1.43 kg/cm<sup>2</sup>. Las ventajas de los bloques elaborados con sascab y PET es la posible disminución de costos debido a que un m<sup>3</sup> de arena cuesta \$298 pesos en comparación con el sascab donde el m<sup>3</sup> está a \$66 pesos, se necesitaría realizar una investigación sobre el análisis costo-beneficio de los bloques para confirmar la hipótesis.

En las pruebas de absorción hubo un aumento del porcentaje en comparación con los bloques de la región pero sin superar el límite establecido de 12%. Los bloques con 10% de PET obtuvieron un porcentaje de 10.41% en comparación con los bloques de la región con un porcentaje de 7.19%, se concluye que los bloques podrían tener una mejor conductividad térmica debido a su porosidad además de ser un elemento hueco.

## RECOMENDACIONES

Para complementar la investigación se recomienda lo siguiente:

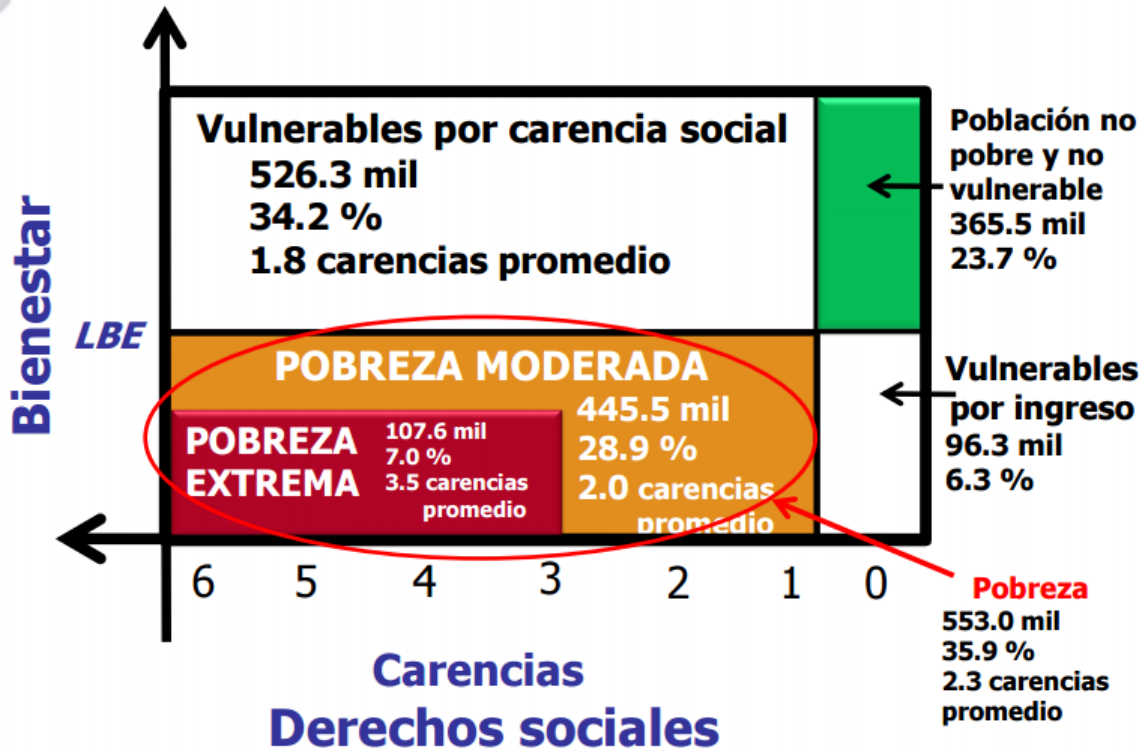
- Elaboración de un análisis de conductividad térmica, para ver el comportamiento de los bloques elaborados en comparación con los bloques de la región.
- Elaboración de un análisis costo beneficio, para una comparación entre los bloques elaborados y los de la región.
- Elaboración de un nuevo diseño de mezcla con una partícula más pequeña de PET que el utilizado en esta investigación, se concluye con el estado del arte que entre más pequeña sea la partícula utilizada de PET, las afectaciones en su comportamiento físico-mecánico son menores.
- Elaboración de bloques con un nuevo diseño de molde donde el área neta aumente y esto podría mejorar la resistencia a compresión.
- Elaboración de pruebas de ensaye en muretes y pilas conforme la NMX-C-464-ONNCCE-2010, para saber sobre el comportamiento del bloque en conjunto.
- Realización de un análisis micro estructural para determinar las características de los poros de los bloques y de esta manera determinar su proceso de fallo. Mediante microscopía óptica y electrónica de barrido. Para identificar la existencia de una relación entre la forma, distribución y alineación de los poros, además de observar alguna posible afectación en la estructura del bloque debido al pH de la mezcla el cual está en contacto con el PET.
- Elaboración de un análisis de rendimiento en la elaboración de muros, debido a la reducción del peso de los bloques en comparación con los de la región de Chetumal, Quintana Roo.

## ANEXOS

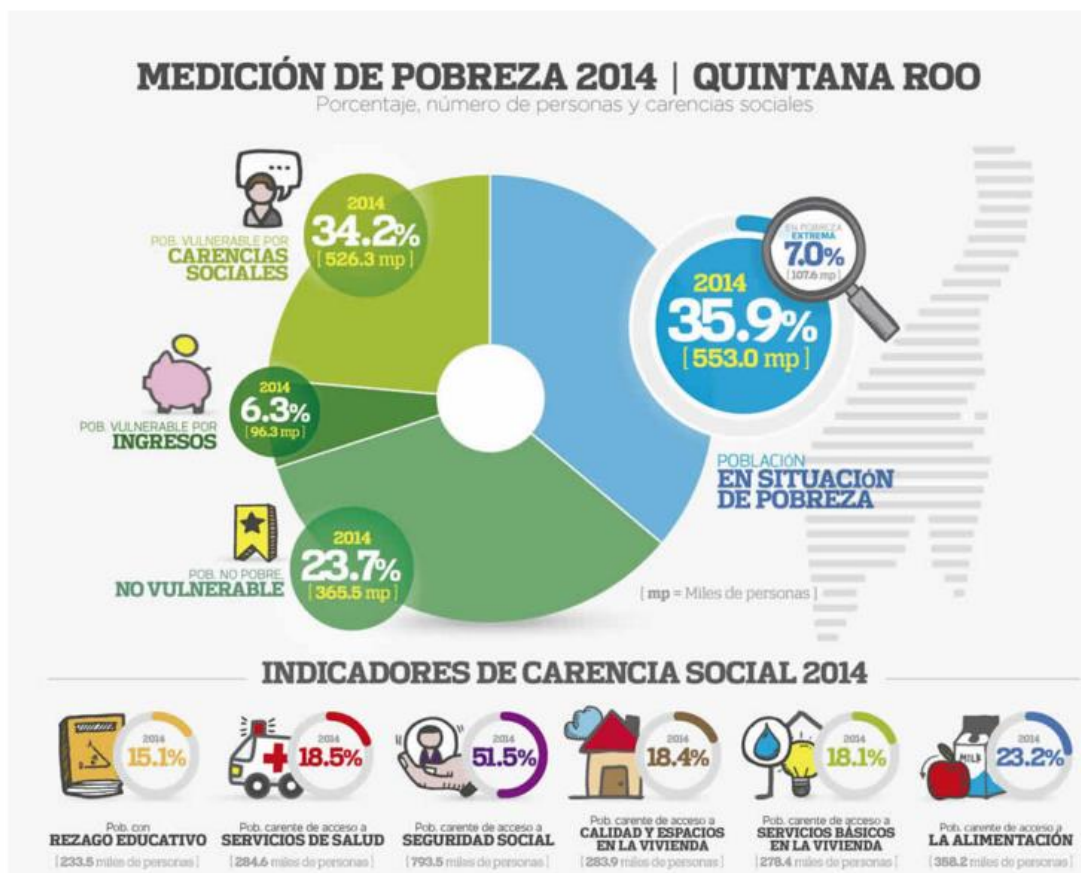
Indicadores	Porcentaje			Miles de personas			Carencias promedio		
	2010	2012	2014	2010	2012	2014	2010	2012	2014
<b>Pobreza</b>									
Población en situación de pobreza	34.6	38.8	35.9	471.7	563.3	553.0	2.4	2.3	2.3
Población en situación de pobreza moderada	28.2	30.4	28.9	384.2	441.1	445.5	2.2	2.0	2.0
Población en situación de pobreza extrema	6.4	8.4	7.0	87.5	122.2	107.6	3.6	3.5	3.5
Población vulnerable por carencias sociales	36.1	30.4	34.2	491.5	441.7	526.3	2.0	1.9	1.8
Población vulnerable por ingresos	4.7	6.2	6.3	64.6	89.9	96.3	0.0	0.0	0.0
Población no pobre y no vulnerable	24.6	24.6	23.7	334.5	357.2	365.5	0.0	0.0	0.0
<b>Privación social</b>									
Población con al menos una carencia social	70.7	69.2	70.0	963.2	1,005.0	1,079.3	2.2	2.1	2.1
Población con al menos tres carencias sociales	23.3	21.8	20.8	317.9	317.1	321.2	3.5	3.4	3.4
<b>Indicadores de carencia social</b>									
Rezago educativo	18.3	17.6	15.1	250.0	256.0	233.5	2.8	2.8	2.8
Carencia por acceso a los servicios de salud	24.3	21.2	18.5	331.3	308.5	284.6	2.8	2.7	2.7
Carencia por acceso a la seguridad social	53.8	54.9	51.5	732.5	796.9	793.5	2.4	2.3	2.3
Carencia por calidad y espacios en la vivienda	21.7	19.7	18.4	295.4	285.3	283.9	2.9	2.9	2.9
Carencia por acceso a los servicios básicos en la vivienda	15.2	14.5	18.1	207.5	211.1	278.4	3.1	3.0	3.0
Carencia por acceso a la alimentación	21.8	18.6	23.2	297.1	270.4	358.2	2.8	2.8	2.5
<b>Bienestar</b>									
Población con ingreso inferior a la línea de bienestar mínimo	12.1	16.6	14.3	164.2	240.5	220.4	2.6	2.5	2.5
Población con ingreso inferior a la línea de bienestar	39.4	45.0	42.1	536.3	653.2	649.4	2.1	2.0	2.0

Anexo 1. Tabla de porcentaje, número de personas y carencias promedio por indicador de pobreza, Quintana Roo, México 2010-2014. Fuente: Coneval. URL:

<http://www.coneval.gob.mx/coordinacion/entidades/QuintanaRoo/Paginas/pobreza-2014.aspx>



Anexo 2. Indicador de pobreza, Quintana Roo, México 2014. Fuente: Coneval. URL:  
<http://www.coneval.gob.mx/coordinacion/entidades/QuintanaRoo/Paginas/pobreza-2014.aspx>



Anexo 3. Grafica de medición de pobreza e indicadores de carencia social 2014, Quintana Roo,

México. Fuente: Coneval. URL:

<http://www.coneval.gob.mx/coordinacion/entidades/QuintanaRoo/Paginas/pobreza-2014.aspx>



## REFERENCIAS

- Albano, C., Camacho, N., Hernández, M., Matheus, A., & Gutiérrez, A. (2009). Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratios. *Waste Management*.
- Al-Hadhrami, L. M., & Ahmad, A. (2009). Assessment of thermal performance of different types of masonry bricks used in Saudi Arabia. *Applied Thermal Engineering*.
- Alves Galvão, J. C., Portella, K. F., Joukoski, A., Mendes, R., & Santos Ferreira, E. (2011). Use of waste polymers in concrete for repair of dam hydraulic surfaces. *Construction and Building Materials*.
- ANCADE. (Abril de 2005). *ANFACAL*. Obtenido de Asociación Nacional de Fabricantes de Cal:  
[http://anfagal.org/media/Biblioteca\\_Digital/Construccion/Estabilizacion\\_de\\_Suelos/JM-Tratamiento\\_de\\_suelos\\_con\\_cal\\_-ANCADE.pdf](http://anfagal.org/media/Biblioteca_Digital/Construccion/Estabilizacion_de_Suelos/JM-Tratamiento_de_suelos_con_cal_-ANCADE.pdf)
- Bilir, T., Gensel, O., & Topcu, I. B. (2015). Properties of mortars with fly ash as fine aggregate. *Construction and Building Materials*.
- Chable, M. Y. (2011). *Tabicones a base de suelo calizo no consolidado y cemento portland para la construcción de muros en viviendas*. Instituto Tecnológico de Chetumal.
- Çiçek, T., & Çinçin, Y. (2015). Use of fly ash in production of light-weight building bricks. *Construction and Building Materials*.
- Coneval. (2014). *CONEVAL*. Obtenido de <http://www.coneval.gob.mx/coordinacion/entidades/QuintanaRoo/Paginas/pobreza-2014.aspx>
- Demir, I., Baspınar, M., & Orhan, M. (2005). Utilization of kraft pulp production residues in clay brick production. *Building and Environment*.
- Demirel, B. (2013). Optimization of the composite brick composed of expanded polystyrene and pumice blocks. *Construction and Building Materials*.

- Durán García, R., & Méndez González, M. (2010). Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán. Mérida, Yucatán: CICY, PPD-FMAM, Conabio, Seduma.
- Escalón, E. (09 de Marzo de 2016). *Universidad Veracruzana*. Obtenido de [http://www.uv.mx/cienciauv/blog/botellas\\_desechables/](http://www.uv.mx/cienciauv/blog/botellas_desechables/)
- Expok*. (29 de Marzo de 2011). Obtenido de Comunidad de sustentabilidad y RSE: <http://www.expoknews.com/fabrican-viviendas-con-tabiques-de-pet/>
- Fernández, J. G. (2015). *Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de bloques huecos de concreto fabricados con sustitución parcial de PET triturado*. Instituto Tecnológico de Chetumal.
- Ferreira, L., Brito, J., & Saikia, N. (2012). Influence of curing conditions on the mechanical performance of concrete containing recycled plastic aggregate. *Construction and Building Materials*.
- Foti, D. (2011). Preliminary analysis of concrete reinforced with waste bottles PET fibers. *Construction and Building Materials*.
- Foti, D. (2013). Use of recycled waste pet bottles fibers for the reinforcement of concret. *Composite structure*.
- Fraternali, F., Ciancia, V., Chechile, R., Rizzano, G., Feo, L., & Incarnato, L. (2011). Experimental study of the thermo-mechanical properties of recycled PET fiber-reinforced concrete. *Composite Structures*.
- Ge, Z., Yue, H., & Sun, R. (2015). Properties of mortar produced with recycled clay brick aggregate and PET. *Construction and Building Materials*.
- González, E. J. (2013). *evaluación de las resistencias mecánicas (compresión y cortante) de un mortero para aplanados con la sustitución parcial del agregado fino de PET*. Intituto Tecnológico de Colima.
- Inforeciclaje. (2016). *Inforeciclaje*. Obtenido de <http://www.inforeciclaje.com/reciclaje-pet.php>

- Informador. (20 de Mayo de 2015). *Informador.MX*. Obtenido de <http://www.informador.com.mx/suplementos/2015/593073/6/los-diez-productos-para-reciclar-mejor-pagados.htm>
- Ismail, Z. Z., & Al-Hashmi, E. A. (2007). Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement. *Waste Management*.
- Medina, M. G. (2011). *Sistema constructivo para muros: bloques a base de concreto y botellas de PET de post-consumo*. Instituto Tecnológico de Chetumal.
- NMX-AA-164-SCFI-2013 . (2013). *Biblioteca Semarnat*. Obtenido de <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/DO3156.pdf>
- NTC. (15 de mayo de 2016). *Normas Técnicas Complementarias Gobierno del Distrito Federal*. Obtenido de [cgsservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/745.pdf](http://cgsservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/745.pdf)
- Nucamendi, H. D. (26 de Mayo de 2011). *Casas sustentables en México*. Obtenido de <http://construccionessustentablesmx.blogspot.mx/2011/05/casas-hechas-de-pet.html>
- ONNCCE. (13 de Diciembre de 2012). *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural*. Obtenido de nmx-c-404-onncce-2012: <http://www.smie.org.mx/layout/eventos/2015/ponencia-mexico-cambio-para-siempre-desde-1985-norma-mexicana-nmx-c-404-onncce-2012-piezas-uso-estructural-leonardo-flores.pdf>
- Pacheco Torgal, F., Ding, Y., & Jalali, S. (2012). Properties and durability of concrete containing polymeric wastes (tyre rubber and polyethylene terephthalate bottles): An overview. *Construction and Building Materials*.
- Rahmania, E., Dehestani, M., Beygia, M., Allahyaria, H., & Nikbin, I. (2013). On the mechanical properties of concrete containing waste PET particles. *Construction and Building Materials*.

- Raut, S., Ralegaonkar, R., & Mandavgane, S. (2011). Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks. *Construction and Building Materials*.
- Saikia, N., & De Brito, J. (2014). Mechanical properties and abrasion behaviour of concrete containing shredded PET bottle waste as a partial substitution of natural aggregate. *Construction and Building Materials*.
- Salinas, I. M. (2002). Arquitectura de los grupos etnicos de Honduras. En I. M. Salinas, *Arquitectura de los grupos etnicos de Honduras* (pág. 154). Guaymuras.
- Shi, Y., Tuladhar, R., Shi, F., Combe, M., Collister, T., & Sivakugan, N. (2015). Use of macro plastic fibres in concrete: A review. *Construction and Building Materials*.
- Siddique, R., Khatib, J., & Kaur, I. (2008). Use of recycled plastic in concrete: A review. *Waste Management*.
- Sutcu, M., & Akkurt, S. (2009). The use of recycled paper processing residues in making porous brick with reduced thermal conductivity. *Ceramics International*.
- Yesilata, B., Isıker, Y., & Turgut, P. (2009). Thermal insulation enhancement in concretes by adding waste PET. *Construction and Building Materials*.