

**PAVIMENTOS RIGIDOS CONSTRUIDOS A PARTIR DE POLIMEROS
RECICLADOS EN BOTELLAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO
(PET)**

**PAVIMENTOS RIGIDOS CONSTRUIDOS A PARTIR DE POLIMEROS RECICLADOS
EN BOTELLAS DE POLIETILENO TEREFTALATO (PET)**

RAUL ANDRES PLATA CABANA



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
COMITÉ DE TRABAJO DE GRADO
BUCARAMANGA
2016**

**PAVIMENTOS RIGIDOS CONSTRUIDOS A PARTIR DE POLIMEROS RECICLADOS
EN BOTELLAS DE POLIETILENO TEREFTALATO (PET)**

RAUL ANDRES PLATA CABANA

Proyecto de grado como requisito para optar al título de Ingeniero(a) Civil

Director

ING. LUZ MARINA TORRADO GOMEZ

INGENIERA CIVIL

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
COMITÉ DE TRABAJO DE GRADO
BUCARAMANGA
2016**

“No es valiente aquel que no tiene miedo,
sino el que sabe conquistarlo”

Nelson Mandela

AGRADECIMIENTOS

Después de un tiempo realizando mi proyecto de grado hoy doy gracias principalmente a Dios por haberme ayudado en el camino de mi vida universitaria, sin la orientación y sabiduría que él me ha dado, nunca hubiese podido llegar hasta este punto, la culminación de mi carrera universitaria.

A mis padres por el apoyo incondicional que me dieron desde el día de mi nacimiento, gracias a ellos por su paciencia y entrega a lo largo de mi vida sin ellos nada de esto sería posible.

Agradezco a mi directora de proyecto la Ingeniera Luz Marina Torrado que se tomó parte de su tiempo para guiarme, gracias a ella por brindarme sus conocimientos y enseñanzas.

Finalmente, un agradecimiento especial a todas las personas que se vieron involucradas en la construcción de mi proyecto como lo fue el Semillero de investigación de Ingeniería Civil y a la Universidad Pontificia Bolivariana por sus laboratorios y personal encargado.

Raúl Andrés Plata Cabana

2. GLOSARIO

Tomado del Invias 2013:

Calzada. Zona de la vía destinada a la circulación de vehículos. Generalmente pavimentada o acondicionada con algún tipo de material de afirmado.

Capacidad. Número máximo de vehículos que puede circular, por un punto o tramo uniforme de la vía en los dos sentidos por unidad de tiempo, bajo las condiciones imperantes de vía y de tránsito.

Carretera. Infraestructura del transporte cuya finalidad es permitir la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad. Puede estar constituida por una o varias calzadas, uno o varios sentidos de circulación o uno o varios carriles en cada sentido, de acuerdo con las exigencias de la demanda de tránsito y la clasificación funcional de la misma.

Carril. Parte de la calzada destinada al tránsito de una sola fila de vehículos.

Derecho de vía. Faja de terreno destinada a la construcción de la vía y sus futuras ampliaciones.

Diseño en planta. Proyección sobre un plano horizontal de su eje real o espacial. Dicho eje horizontal está constituido por una serie de tramos rectos denominados tangentes, enlazados entre sí por trayectorias curvas.

Estudio de impacto ambiental. Estudio cuya finalidad es la determinación detallada de los efectos producidos por el proyecto vial, la elaboración del Plan de Manejo Ambiental, y el cálculo de los costos de las obras de mitigación ambiental

Nivel de servicio. Refleja las condiciones operativas del tránsito vehicular en relación con variables tales como la velocidad y tiempo de recorrido, la libertad de maniobra, la comodidad, los deseos del usuario y la seguridad vial.

Pavimento. Conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la Subrasante de una vía y deben resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmite durante el período para el cual fue diseñada la estructura y el efecto degradante de los agentes climáticos.

Pavimento flexible. Tipo de pavimento constituido por una capa de rodadura bituminosa apoyada generalmente sobre capas de material no ligado.

Pavimento rígido. Es aquel que fundamentalmente está constituido por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido

Peralte. Inclinación dada al perfil transversal de una carretera en los tramos en curva horizontal para contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga que actúa sobre un vehículo en movimiento. También contribuye al escurrimiento del agua lluvia

Rasante. Es la proyección vertical del desarrollo del eje de la superficie de rodadura de la vía.

Replanteo. Actividades topográficas encaminadas a localizar un proyecto vial en el terreno para su posterior construcción. Se apoya en los planos de diseño y en las bases de topografía empleadas previamente en el levantamiento del corredor vial.

Subrasante. Superficie especialmente acondicionada sobre la cual se apoya la estructura del pavimento

Velocidad de diseño. Velocidad guía o de referencia de un tramo homogéneo de carretera, que permite definir las características geométricas mínimas de todos los elementos del trazado, en condiciones de seguridad y comodidad.

TABLA DE CONTENIDO

1. AGRADECIMIENTOS.....	5
2. GLOSARIO.....	6
3. TABLA DE ILUSTRACIONES.....	10
4. TABLA DE GRAFICAS.....	12
5. LISTA DE TABLAS.....	13
6. RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO.....	14
7. GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE.....	15
8. GENERALIDADES.....	16
8.1. INTRODUCCION.....	16
8.2. JUSTIFICACION.....	17
8.3. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	19
8.4. OBJETIVOS.....	20
8.4.1. GENERAL.....	20
8.4.2. ESPECIFICOS.....	20
8.5. ALCANCE.....	21
9. MARCO TEORICO.....	22
9.1. ANTECEDENTES.....	22
9.2. MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL.....	24
9.3. MARCO LEGAL.....	26
10. METODOLOGIA.....	28
10.1. ETAPAS.....	28
10.2. RECOPIACION DE INFORMACION.....	29
10.2.1. SELECCIÓN DEL MATERIAL.....	29
10.2.2. GRANULOMETRIA.....	30
10.2.3. MASA UNITARIA.....	32
10.2.4. HUMEDAD NATURAL.....	35
10.2.5. GRAVEDAD ESPECÍFICA.....	36
10.2.6. DENSIDAD DEL CEMENTO.....	37
10.2.7. CONSISTENCIA NORMAL.....	38
10.2.8. TIEMPO DE FRAGUADO.....	39
10.2.9. DISEÑO DE MEZCLA.....	40
10.3. CONSTRUCCION DE MUESTRAS.....	41
10.3.1. CONSTRUCCION DE BOTELLAS.....	41
10.3.2. CONSTRUCCION DE CILINDROS.....	43
10.3.3. CONSTRUCCION DE VIGAS.....	45
10.3.4. CONSTRUCCION DE PLACAS.....	46

11. RESULTADOS	48
11.1. ASENTAMIENTOS	48
11.2. FALLOS DE CILINDROS	49
<i>11.2.1. FALLOS DE CILINDROS CON CONCRETO NORMAL.....</i>	<i>50</i>
<i>11.2.2. FALLOS DE CILINDROS CON UNA BOTELLA EN SU INTERIOR.....</i>	<i>51</i>
<i>11.2.3. FALLOS DE CILINDROS CON TAPAS PLASTICAS</i>	<i>54</i>
<i>11.2.4. RESULTADOS DE LOS FALLOS EN CILINDROS</i>	<i>55</i>
11.3. MICROSCOPIO ELECTRONICO	56
11.4. FALLO DE VIGAS.....	58
11.5. FALLO DE PLACAS.....	61
12. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES	64
13. CONCLUSIONES.....	65
14. BIBLIOGRAFIA.....	69
15. ANEXOS.....	71
15.1. ANEXO 1. INFORME DE MUESTRA DE MICROSCOPIO ELECTRÓNICO.	71
15.2. ANEXO 2. EXCEL DE LOS DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS.	71

3. TABLA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Esquema del comportamiento de pavimentos</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 2. Selección del material</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 3. Granulometría</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 4. Masa Unitaria</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 5. Densidad del cemento.....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 6. Densidad del cemento en agua.....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 7. Consistencia Normal</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 8. Diseño de mezcla.....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 9. 63 Botellas Compactadas</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 10. Parte Inferior de las Botellas Compactadas</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 11. Proceso de pesado.....</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 12. Acumulación de Materiales.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 13. Cilindro con Botella en su interior.....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 14. Cilindros.....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 15. Tiempo de Curado</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 16. Elaboración de Vigas</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 17. Vigas.....</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 18. Primera Etapa de Placa</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 19. Segunda Etapa de Placa.....</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 20. Tercera Etapa de Placa.....</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 21. Cuarta Etapa de Placa</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 22. Quinta Etapa de Placa</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 23. Asentamiento Normal. 2.9cm</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 24. Asentamiento de Botellas. 3.5cm.....</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 25. Asentamiento con Tapas. 2.7cm</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 26. Cilindros a 7 días</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 27. Cilindros a 14 días</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 28. Falla concreto normal.....</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 29. Separación del concreto</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 30. Huella de la botella</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 31. Falla columnar</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 32. Huella parte inferior de la botella.....</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 33. Separación en 3 del concreto</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 34. Fallo de tapas plásticas.....</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 35. Resultados de los fallos en cilindros</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 36. Microscopio a 50000X</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 37. Microscopio a 100000X</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 38. Fallo viga normal en maquina</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 39. Fallo viga con botellas en maquina</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 40. Falla lateral de viga con botella</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 41. Falla superior de viga con botella</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 42. Maquina universal.....</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 43. Falla placa normal.....</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 44. Falla inferior placa con botellas.....</i>	<i>62</i>

<i>Ilustración 45. Falla superior placa con botella</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 46. Resistencia máxima placa normal.....</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 47. Resistencia máxima placa con botellas</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 48. Datos de reciclaje.....</i>	<i>65</i>

4. TABLA DE GRAFICAS

<i>Grafica 1. Granulometría Gruesa</i>	<i>30</i>
<i>Grafica 2. Granulometría Fina.....</i>	<i>31</i>
<i>Grafica 3. Tiempo de Fraguado</i>	<i>39</i>
<i>Grafica 4. Resistencia del Concreto en los Cilindros.....</i>	<i>55</i>
<i>Grafica 5. F'c Vs Edad.....</i>	<i>66</i>
<i>Grafica 6: Peso Vs Edad.....</i>	<i>67</i>
<i>Grafica 7. Densidad Vs Edad</i>	<i>67</i>

5. LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Antecedentes de estudios e investigaciones.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 2. Granulometría Gruesa.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 3. Granulometría Fina.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 4. Datos Previos masa unitaria del agregado grueso</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 5. Masa Suelta + Molde, agregado grueso</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 6. Masa Compacta + Molde, agregado grueso.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 7. Masa Unitaria suelta, agregado grueso.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 8. Masa Unitaria compacta, agregado grueso.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 9. Datos previos masa unitaria, agregado fino</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 10. Masa suelta + Molde, agregado fino</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 11. Masa compacta + Molde, agregado fino</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 12. Masa unitaria suelta, agregado fino</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 13. Masa unitaria compacta, agregado fino</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 14. Humedad natural agregado grueso.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 15. Humedad natural agregado fino</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 16. Gravedad específica del agregado grueso</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 17. Gravedad específica del agregado fino.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 18. Densidad del cemento.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 19. Consistencia Normal</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 20. Tiempo de fraguado.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 21. Relación A/C.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 22. Cantidad de cemento</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 23. Proporciones</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 24. Fallos de cilindro con concreto normal</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 25. Fallos de cilindros con una botella en su interior.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 26. Muestras con botellas.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 27. Fallos de cilindros con tapas plásticas.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 28. Viga normal.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 29. Viga con botellas</i>	<i>59</i>

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: PAVIMENTOS RÍGIDOS CONSTRUIDOS A PARTIR DE POLÍMEROS RECICLADOS EN BOTELLAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)

AUTOR(ES): Raul Andres Plata Cabana

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Luz Marina Torrado Gómez

RESUMEN

Este trabajo de grado se basó en el proceso que se llevó a cabo al régimen de la norma Invias actual (2010) y la norma NSR-10 en donde se especifican las características para realizar adecuadamente una prueba piloto que consiste en la fabricación de 32 cilindros (altura 30 cm x diámetro 15 cm), 2 placas (longitud 90 cm x anchura 50 cm x espesor 16 cm) y finalmente 2 vigas (altura 15 cm x ancho 15 cm x longitud 60 cm) de concreto hidráulico para fallar a flexión. Se realizaron pruebas para analizar y evaluar el comportamiento del concreto hidráulico cubriendo una botella de tereftalato de polietileno, tratando de alcanzar una resistencia de 4000 psi a la compresión, con la intención de disminuir costos en la fabricación del pavimento rígido y su mantenimiento. A su vez, se logra la elaboración de un concreto más amigable con el medio ambiente que soluciona múltiples problemas en el diseño y construcción de pavimentos rígidos, a través de botellas plásticas (PET) de una capacidad de 600 cm³ y llenas de una manera muy compacta con polímeros reciclables.

PALABRAS CLAVES:

Pavimento Rígido, Tereftalato de polietileno, Concreto, Plastico

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: RIGID PAVEMENT CONSTRUCTED FROM RECYCLED POLYMERS IN BOTTLES OF POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET)

AUTHOR(S): Raul Andres Plata Cabana

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Luz Marina Torrado Gómez

ABSTRACT

This degree work was based on the process that was carried out under the regime of the current Invias standard (2010) and the NSR-10 standard where the characteristics are specified to adequately carry out a pilot test that consists of the manufacture of 32 cylinders (Height 30 cm x diameter 15 cm), 2 plates (length 90 cm x width 50 cm x thickness 16 cm) and finally 2 beams (height 15 cm x width 15 cm x length 60 cm) of hydraulic concrete to fail in flexion. Tests were performed to analyze and evaluate the performance of hydraulic concrete by covering a bottle of polyethylene terephthalate, trying to achieve a resistance of 4000 psi to compression, with the intention of reducing costs in the manufacture of rigid pavement and its maintenance. In turn, the development of a more environmentally friendly concrete that solves multiple problems in the design and construction of rigid pavements, through plastic bottles (PET) of a capacity of 600 cm³ and filled in a very Compact with recyclable polymers.

KEYWORDS:

Rigid Pavement, Polyethylene Terephthalate, Concrete, Plastic

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

8. GENERALIDADES

8.1. INTRODUCCION

La presente investigación comprende el estudio del concreto simple y el plástico como vía alterna para mejorar la resistencia del hormigón mediante botellas rellenas de plástico compactado para disminuir en gran medida el aire en su interior y reemplazar el volumen de concreto.

Principalmente este tipo de plástico es proveniente de residuos sólidos reciclables como paquetes de golosinas, bolsas secas y limpias de todo tipo, bolsas de mercado, bolsas de leche y envoltentes de detergentes. También son aceptables para compactar las botellas, los empaques de aluminio y hasta recibos de cajas o cajeros.

Para analizar esta problemática es necesario mencionar sus causas. Una de esas es la inconsciencia por el medio ambiente que se ve reflejado en el consumo indiscriminado. Se entiende como consumo indiscriminado, la necesidad de adquirir constantemente cualquier bien o servicio satisfacción basado en un comportamiento irracional donde no contempla algún interés por las consecuencias adyacentes.

La investigación de esta problemática social se centra en la búsqueda insaciable de alternativas de solución para que aquellos residuos sólidos que sin determinación alguna se arroja en la basura desconociendo y sin darle mucha importancia a su fin último.

Por otra parte, se pretende establecer una manera más didáctica para contribuir a un mejor futuro con aspectos favorables en el sector económico y social.

En el marco de la ingeniería civil, la investigación se realizó basado en una serie de resultados de laboratorio dependientes del agregado fino, agregado grueso y cemento. Selección del plástico respectivo considerándolo apropiado y de procedimientos necesarios para llevar a cabo la botella compactada adecuadamente.

8.2. JUSTIFICACION

En 1939 los investigadores J. R. Whinfield y J. T. Dickson descubrieron el tereftalato de polietileno (PET), un polímero que se desencadena del grupo de los sintéticos al reaccionar el ácido tereftálico y el etilenglicol; produciéndose permanentemente desde su año de lanzamiento al mercado en 1955 y brindándole a la humanidad que lo explotara, procesara y reproduzca en diferentes presentaciones. Dándonos una estabilidad económica y social garantizada, pero a su vez, también prestándose para contaminar cada vez más nuestro planeta. ^[1]

Por otro lado, el pavimento nacido en la época romana aplicándose para la misma función que actualmente lo usamos, establece un soporte de apoyo horizontal y superficial de cualquier material aumentándole su resistencia y el servicio en la circulación de personas o vehículos, siendo de cualquier material como el hormigón y/o mezclas asfálticas. En nuestro caso, lo tenemos en cuenta como la parte superior de las calzadas por encima de la sub-base y la base granular. ^[2]

Ahora bien, la naturaleza desde un tiempo para acá está pasando una cuenta de cobro de gran magnitud, por el constante y significativo uso de la materia orgánica e irre recuperable que proporciona de manera gratuita. Una problemática que se debe observar cuidadosamente a largo y corto plazo, mitigando los efectos que consigo trae mediante actividades de reutilización, reducción y reciclaje de los desechos en consecuencia al uso indiscriminado de los materiales que usamos.

Sin embargo, la meta como ingenieros o cualquier otra rama a fin, es buscar ese equilibrio entre la protección del ambiente y la salud humana con las necesidades de la construcción en una población creciendo exponencialmente superando cualquier pronóstico. Lo que se lleva a recapacitar en un modo imaginativo para crear diferentes opciones que ayuden a cumplir la anterior culminación con éxito.

Es por eso, que nació esta pequeña idea donde es un granito de arena para ayudar a transformar el mundo donde se desarrolla, una iniciación un poco atroz pero contundente, un mínimo pensamiento, pero con visión, una percepción superficial, pero con sospecha. Una ilusión que nació en las oficinas de la constructora VolkerWessels en Holanda hace más de 5 años donde se quiso realizar una mezcla entre los residuos secos y limpios del plástico normalmente usado, con la composición química del asfalto para ser aplicable en las calles de Rotterdam.

A pesar de los esfuerzos, era un concepto un poco ambiguo con costos altos de maquinaria, pero con la proyección de querer empeñarse por ser más amigables con el entorno. Una concepción de tener ganas por reunir esfuerzos que implicaran reducir el coste de la naturaleza, determinando un criterio y un punto de partida extenso que nos exigiera la necesidad por querer realizar algo hacia la sociedad.

Después de cierto tiempo de estudio, este modelo demostró ser más ecológico-sostenible con la capacidad de soportar altas temperaturas sin deformarse, mayor vida útil, menos costos de mantenimiento y en la producción, disminuyendo las emisiones de CO₂. Más allá, se quiso implementar formaletas con cierta área superficial basadas de tereftalato de polietileno que no

requieran de las tradicionales capas de las vías pavimentadas para su construcción, sino dejando un espacio considerable entre la capa inferior de base con la capa superior de rodadura dejando como ventaja que se puedan introducir tubos de aguas sucias, electricidad, gas, entre otros. Apodándose el nombre de “PlasticRoad” que a su vez restringían el transporte de vehículos muy pesados por la zona por ser periodos de pruebas.

Actualmente, se viene desarrollando formas de construcción con la aprobación del ecosistema para tratar de mitigar los puntos negativos que se ocasiona, como lo es el mal llamado “Ecoladrillo”, una idea creada en la fundación “Pura Vida” que consta de un botella plástica bien sea de grande, mediana o pequeña capacidad de líquido, rellena de plástico desechable a presión previamente limpia y seca, queriendo disminuir el espacio del aire de su interior lo máximo posible para aumentar la capacidad de resistencia a la deformación y haga la misma función de un ladrillo convencional, recubierta de mortero apiladas de la misma forma para elaborar una pared y que soporte el techo de una casa. ^[3]

Es a partir de eso donde radica esta investigación; se ha demostrado que el método anteriormente mencionado ha cumplido los estándares de alta calidad a consecuencia de bajo costo, disminuyendo a su vez la ocupación de espacios innecesarios por los desechos plásticos. Se requiere implementar aquel ladrillo artesanal reemplazando volumen del concreto hidráulico en la parte superior de una carretera con pavimento rígido, ya que no es necesario altas resistencias a la deformación. Mientras que en pavimento flexible, se requerirá sustituir la sub-base porque la base en ese pavimento en específico si tiende a deformarse con el peso del paso de los vehículos y/o peatones.

Hasta el momento nadie se ha atrevido a implementarlo de esa manera porque en los textos consultados, siempre unen partículas diminutas previamente tamizadas del politereftalato de etileno con el pavimento para querer disminuir una implementación monetaria mayor.

Finalmente, Vancouver tiene como objetivo claro hacia el 2020 convertirse en la ciudad más verde del mundo iniciando por sus calles al fundir los materiales del plástico reciclado con el asfalto reduciendo un porcentaje del consumo de combustible en sus maquinarias y a su vez evitando que ese material termine en los basureros más cercanos. ^[4]

8.3. FORMULACION DEL PROBLEMA

Solo Bogotá genera 6500 toneladas de basura diaria a nivel nacional lo que representa cerca de un 23.8%, equivalente a un edificio de 17 pisos; En Colombia, se genera alrededor de 27300 toneladas de basura diaria, lo que representa un total de 10'037.500 toneladas anuales y tan solo de este 100% un 70 u 80% es reciclable. Cada kilogramo reciclado de botellas PET es equivalente a 1.1 galones de petróleo, es quiere decir que si nosotros como sociedad seguimos consumiendo residuos sólidos a esta magnitud, para el 2018 el reino unido quedara sin espacio para enterrar sus desechos sólidos.

Por eso, hoy en día es tan importante implementar alternativas de solución eficaces que mezclen los residuos reciclables generados a diario en nuestras oficinas, hogares o lugares de trabajo, con actividades cotidianas para disminuir el impacto ambiental que pueda llegar a tener en cualquier caso.

Durante toda esta investigación trate de juntar la mezcla de concreto para llevar a cabo un pavimento rígido con los residuos sólidos de plástico en forma eficiente con la idea de poder cumplir adecuadamente con los objetivos.

8.4. OBJETIVOS

8.4.1. GENERAL

- Analizar el comportamiento del pavimento rígido usando botellas plásticas politereftalato de etileno (PET) rellenas con polímeros reciclables para su fabricación, frente al pavimento rígido convencional.

8.4.2. ESPECÍFICOS

- Identificar las propiedades físicas y mecánicas de una botella (PET) compactadas con el material reciclable mediante ensayos pertinentes.
- Caracterizar el agregado fino, el agregado grueso y el cemento a utilizar según la Norma Técnica Colombiana (NTC).
- Realizar los respectivos diseños de mezcla del concreto para el concreto normal, el concreto con botellas PET y el concreto con tapas plásticas.
- Elaborar una placa de concreto convencional, una placa de concreto con botellas PET rellenas de polímero reciclable y una placa de concreto con tapas plásticas.
- Analizar y comparar los resultados de los pavimentos rígidos convencionales con los pavimentos rígidos a base de plástico

8.5. ALCANCE

- ✓ Realizar pruebas de resistencia a 12 cilindros con una botella PET compactando en su interior polímeros reciclables y recubiertos de concreto de 4000 psi dividiendo las fallas de laboratorio en la siguiente manera: cinco (5) cilindros a 7 días, dos (2) cilindros a 14 días y cinco (5) cilindros a 28 días.
- ✓ Diseñar una placa basada en concreto de 4000 psi de 90cm por 50cm con un espesor de 16cm donde en su interior se encuentren 58 botellas PET divididas en 2 láminas de 29 botellas cada lámina.
- ✓ Elaborar una placa de concreto convencional a 4000 psi de 90 cm por 50cm con un espesor de 16cm para comparar su comportamiento frente a la diseñada con botellas plásticas PET en su interior
- ✓ Detectar el comportamiento a la compresión de 12 cilindros creados con concreto convencional de 4000 psi.
- ✓ Conocer los resultados de laboratorio de nuestro material en los ensayos de granulometría, peso específico, masa unitaria, humedad natural, consistencia norma, tiempo de fraguado y finura de cemento.
- ✓ Analizar la manera de falla de 12 cilindros elaborados con concreto de 4000 psi y mezclados con tapas plásticas; cinco (5) cilindros a 7 días, dos (2) cilindros a 14 días y cinco (5) cilindros a 28 días.
- ✓ Comparar a través de graficas el comportamiento de resistencia durante 28 días del concreto convencional, el concreto mezclado con tapas plásticas y el concreto en su interior con botellas plásticas PET rellenas de polímeros reciclables

9. MARCO TEORICO

9.1. ANTECEDENTES

A lo largo de la historia, el ser humano siempre ha mantenido un contacto directo con la naturaleza en el cual se desempeña mediante el uso de los recursos renovables y no renovables que el entorno le proporciona. A finales del siglo XX, cuando la vivienda dejó de ser un elemento cultural y de protección contra la milicia para convertirse tan solo en un espacio de alojamiento, el ser vivo racional intentó transformar su lugar de hábitat desde múltiples aspectos; aspectos que han llevado a la creación de monumentales edificaciones, espectaculares casas, gigantescos apartamentos, entre otros. ^[5]

Por otro lado, nuestra sociedad individualista siempre ha querido su bien personal, sin darle importancia al precio que paga para satisfacer sus necesidades. Estamos hablando precisamente de la indiscriminada deforestación que estamos atravesando, la sobreproducción de materiales que duran más de 1000 años para su descomposición, la eliminación de montañas llenas de minerales, la constante desaparición de seres vivos que hacen parte una cadena alimenticia, la satisfacción amarillista de unos con otros pero sobre todo, la inconsciencia e ingenuidad que aún muchos de nosotros tenemos frente a situación adversar relacionada con la naturaleza. ^[6]

De cierta manera el aspecto que nos intriga, es el poder darle un uso alternativo a los residuos plásticos sólidos que salen a diario de nuestros hogares, lugares de trabajo, sitios de distracción o hasta en la misma calle del exterior. Un uso biodegradable relacionando con la rama de la ingeniería civil en el aspecto de las vías terrestres. Es por eso que nace esta idea. ^[7]

Cerca del año 2010, crean ideas como opciones simples y eficientes para empleo de cualquier plástico y/o envoltorio de aluminio, compactados dentro de una botella de tereftalato de polietileno (PET). Campañas que han nacido por la necesidad de reutilizar y reciclar nuestros residuos biodegradables que han de inventar procesos y estructuras ecológicas. Tipos de construcción verdes que reducen de cierta manera la contaminación ambiental en su producción y mantenimiento como lo es el pavimento rígido planteado en este documento. ^[8]

A su vez, me base de ciertos trabajos de grados relevantes en este tipo de estudios e investigaciones dentro de los cuales están:

[1] Escuela de ingenierías industriales. Historia del PET: Master universitario en ingeniería industrial. <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso04-05/pet/historia.html>

[2] Pontificia universidad javeriana. La republica romana: Vías romanas. <http://pioneros.puj.edu.co/cronos/crono1/roma/vias.htm>

[3] Pura vida, 2016. El ecoladrillo es la innovación fundamental de Pura Vida en el manejo alternativo de los desechos sólidos. <https://www.puravidaatitlan.org/>

[4] Las 2 orillas, 2014. Vancouver, la ciudad más verde del planeta 2020. <http://www.las2orillas.co/vancouver-la-ciudad-mas-verde-del-planeta-en-2020/>

Tabla 1. Antecedentes de estudios e investigaciones

AUTOR	AÑO	TITULO	INSTITUCION
Emerson David Rojas Ricardo Rueda	2014	[5] Análisis del comportamiento mecánico de ladrillos estructurales el polipropileno de materiales plásticos reciclables	Universidad Pontificia Bolivariana
Néstor Darío Hernández	2014	[6] Evaluación mecánica de eco ladrillos elaborados con residuos plásticos	Universidad Pontificia Bolivariana
Mario Andrés Lozada Mayerly Liseth Jaimes	2012	[7] Estudio de los índices de variabilidad en la calidad de los agregados pétreos, enfocado a pavimentos rígidos	Universidad Pontificia Bolivariana
Néstor Andrés Amaris Vladimir Rondón	2009	[8] Uso del silicato de sodio como adición natural del concreto hidráulico	Universidad de la Salle

En el anterior cuadro se puede evidenciar las referencias específicas de la cual me base para realizar los antecedentes del marco teórico

Fuente: Propia

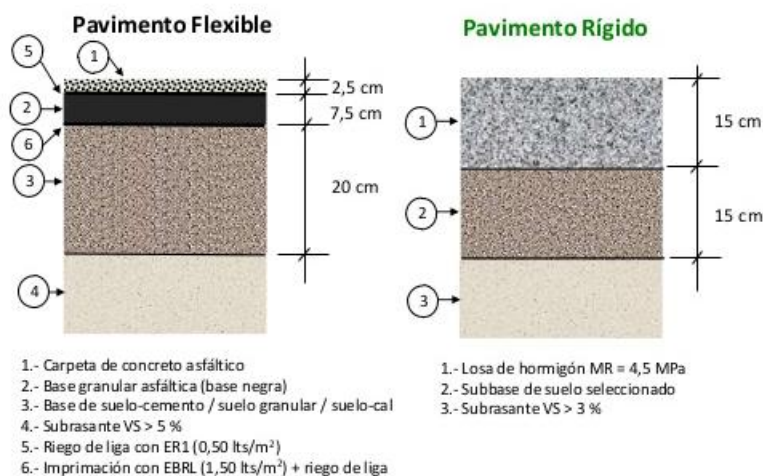
9.2. MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL

El pavimento es aquella unión de capas superpuestas horizontalmente, constituidos bajo condiciones técnicas con materiales establecidos previamente y acopiados de tal manera que se le disminuya al máximo la distancia conocida entre placa y placa. Estas estructuras compactadas se superponen por encima de la subrasante de una vía, de tal manera que su composición resista adecuadamente las cargas transmitidas por el tránsito para el cual fue elaborado e indirectamente los agentes de cambios climáticos ^[1].

Esto conlleva a que la capa superior o la capa de rodadura deben caracterizarse por tener mayor capacidad a la deformación para soportar más eficazmente las cargas verticales que se le presenten a lo largo de su vida útil. El pavimento general está compuesto por la capa de rodadura, la base, la sub-base y la subrasante. Existen dos tipos de pavimentos que aunque cumplen con la misma función, parten de diferentes composiciones como lo son: Pavimentos rígidos y pavimentos flexibles ^[2].

El pavimento flexible está constituido por una carpeta de rodadura apoyada sobre las demás láminas que están constituyendo un pavimento general, mientras que el pavimento rígido está constituido por una parte de concreto hidráulico apoyado sobre la sub-base.

Ilustración 1. Esquema del comportamiento de pavimentos



Fuente: Slideshare.net. (2013). <https://es.slideshare.net/EdgardoBecker/becker-desempeo-y-costos-de-pavimentos-de-concreto-en-argentina-definitivo>. Publicado el 8 de febrero del 2013

Cada capa de los dos pavimentos posibles cumple funciones específicas, que se detallar a continuación:

Capa de rodamiento: Es la capa mas superior de todas las partes, es posiblemente impermeable para evitar el paso del agua a sus capas inferiores, es aquella capa que soporta las cargas directamente del tránsito y está compuesta por asfalto.

Capa base: Es la tercera capa en orden de inferior a superior, se encarga de absorber gran porcentaje de las cargas iniciadas en la capa de rodadura y debe tener alta resistencia a la deformación.

Capa sub-base: Es aquel sobre el cual se soporta la base y poner por encima de la subrasante.

Capa Subrasante: Es la capa de apoyo por la cual se determinan las características de intransigencia y mudabilidad de la estructura

El asfalto nació con una necesidad el siglo pasado después de sentir la crisis energética cerca de los 70, que con el tiempo fue llamándose emulsiones; este material de color negro, compuesto principalmente por aceites, resinas y asfáltenos, proporcionan características apropiadas en consistencia para el libre tránsito de los vehículos y peatón que pasen sobre el

Por otro lado, los *ecoladrillos* o ladrillos ecológicos nacieron por la necesidad de hacer un ecosistema sostenible basándose en el crecimiento exponencial e incontrolable de la contaminación; Estos dispositivos son cualquier implemento que permitan realizar algún tipo de construcción ^[3], parten de una botella plástica con la formula molecular $(C_{10}H_8O_4)_n$ rellena compactamente con residuos secos y limpios.

Sin embargo, en el tiempo que se ha tenido la oportunidad de usarlos en otros proyectos experimentales ha dejado como moraleja positiva el permitir reducir considerablemente el volumen de desechos considerables como basura, mientras no tan buenas como que luego de que la construcción ha cumplido su función estos ya no son considerados como reciclable por lo que entra dentro del término de basura.

Cabe anotar que estos ladrillos ecológicos no se deben exponer bajo la luz solar por la posible emisión de gases no aptos para el ser humano, es por ello que se pretende utilizar en una capa específica por debajo de la capa de rodamiento.

La idea principal es tener la capacidad mediante datos experimentales del laboratorio suplantar un gran porcentaje del material que se utilizar como sub-base determinando que puede llegar a cumplir con la capacidad portante a la deformación y resistencia suficiente para ser usado en las calles por las cuales pasan frecuentemente vehículos, en las ciclorutas y/o simplemente en los andenes peatonales pero siempre partiendo de la importancia con querer desempeñar un ambiente ecológicamente sostenible.

9.3. MARCO LEGAL

La normatividad es tomada de las principales fuentes que rigen una construcción en el ámbito ingenieril, evaluada desde diferentes campos, la cual resalta la importancia de resultados con una utilidad hacia el bien público que tiene en cuenta entidades gubernamentales e ingeniería del sector privado.

Es por ello que a través de estos reglamentos se puede llevar un control de construcción y mantenimiento con un mejor proceso a los elementos y compuestos utilizables para la creación de un buen pavimento rígido.

El cual se basó específicamente de textos y párrafos adquiridos en los manuales de la norma Invias del año 2013 y la norma sismo-resistente (NSR-10) del año 2010.

A continuación, se hace referencia de las normas utilizadas para el desarrollo de esta investigación.

NORMA	NOMBRE DEL ENSAYO	DESCRIPCION
Invias - 307	Densidad del cemento hidráulico	Se debe llenar el frasco Le Chatelier con un líquido cuya densidad sea inferior a la del agua entre las marcas 0 y 1 ml. Se anota la primera lectura. Se agrega poco a poco los 64gr pesados del cemento a utilizar y observando que no se adhiera a las paredes. Finalmente, se toma la lectura final.
Invias - 213	Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos	Se obtiene una mezcla seca de 300gr. Se selecciona un grupo de tamices según la granulometría deseada, aquellos que se encuentran por encima del No.4 y aquellos que se encuentren por del debajo del No.4. Se tamiza esperando que la suma del peso retenido de todos los tamices sea igual al inicial.
Invias - 222	Gravedad específica y absorción de agregados finos	Se llena parcialmente el picnómetro con agua e inmediatamente se le agregan 500gr de agregado fino superficialmente seco para posterior completarlo con agua. Se agita hasta sacarle el aire lo mayor posible para mantener un peso estable y poder sacarlo al horno. Finalmente, se pesa y se determina la variación de pesos.
Invias - 223	Gravedad específica y absorción de agregados gruesos	Se pesa una determinada muestra completamente seca para la inmersión. Posterior a la inmersión, se secan las partículas rodándolas sobre un paño absorbente de gran tamaño hasta que se elimine el agua superficial. Después se coloca la muestra en la canastilla para conocer su masa sumergida en el agua para finalmente secar en horno.
Invias - 310	Método para determinar la consistencia normal del cemento	Sobre una superficie pulida y no absorbente se coloca una muestra de 500 g de cemento con un hoyo en el centro. Se vierte en el hoyo una cantidad medida de agua destilada esperando 30 segundos a que el cemento absorba adecuadamente el agua. Durante los siguientes 30 segundos, mientras se permite la absorción del agua, debe mezclarse

		<p>suavemente mediante con el palustre la pasta húmeda para reducir las pérdidas por evaporación y facilitar la completa absorción. Luego se termina la operación mezclando y amasando con las manos, continúa y vigorosamente durante 90 segundos. En este último paso, la pasta se moldea con las manos dándole forma esférica y se lanza 6 veces de una mano a otra a una distancia de unos 15 cm. y se procede al llenado de moldes. Finalmente se deja caer la aguja para conocer la distancia milimétrica que se muestra.</p>
NTC - 118	Método para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico	<p>Se debe mezclar 500 gramos con el porcentaje de agua obtenido en el ensayo de consistencia normal descrito en la NTC-110 y/o In-310. Después, se llena el molde con la mezcla obtenida y deja caer la aguja cada 30 minutos hasta el punto el cual muestre la penetración adecuada calculando el tiempo desde el principio. Se debe tener cuidado no ejerje presión sobre la aguja</p>
NTC - 92	Método para determinar la masa unitaria de los agregados	<p>Este ensayo presenta la forma de hallar la masa unitaria suelta, la masa unitaria apisonada y la masa unitaria vibrada tanto para agregados fino como para agregados gruesos</p>

10. METODOLOGIA

10.1 ETAPAS

Para alcanzar los objetivos del proyecto se pretende erigir de varias etapas las cuales deberán regirse a partir de un orden cronológico propuesto para la investigación; desarrollado hacia la misma perspectiva en diferentes etapas:

1. Recopilación de información desde fuentes bibliográficas
2. Análisis de la información obtenida, delimitación de los procesos en el laboratorio y programación del tiempo necesario
3. Caracterización de los materiales adecuados para la investigación
4. Diseño de la mezcla de concreto convencional y diseño de la mezcla de concreto con plástico
5. Elaboración de 11 cilindros de 30cm de altura con 15cm de diámetro con concreto y botellas PET a una resistencia de 4000 Psi para fallar cuatro (4) cilindros a 7 días, dos (2) cilindros a 14 días y finalmente cinco (5) cilindros a 28 días.
6. Elaboración de 10 cilindros de 30cm de altura con 15cm de diámetro de concreto normal a una resistencia de 4000 psi para fallar cuatro (4) cilindros a 7 días, un (1) cilindro a 14 días y finalmente cinco (5) cilindros a 28 días.
7. Elaboración de 11 cilindros de 30cm de altura con 15cm de diámetro con tapas plásticas y concreto de 4000 psi para fallas cuatro (4) cilindros a 7 días, dos (2) cilindros a 14 días y finalmente cinco (5) cilindros a 28 días.
8. Creación de dos (2) placas de concreto de 50cm de ancho por 90cm de largo con un espesor de 16cm. Una de las placas con concreto convencional de 4000psi, la segunda placa a base de una mezcla con tapas plásticas y la tercera dividida de dos (2) láminas horizontales de botellas plásticas PET rellenas de polímeros reciclables recubiertas del concreto hidráulico.
9. Diseño de dos (2) vigas para fallar a flexión a los 28 días mediante la maquina universal de doble rango para ensayos a concreto las cuales, una de ellas esta solidificada con concreto convencional mientras la otra contiene ocho (8) botellas plásticas PET alineadas una encima de otra de forma horizontal
10. Obtención de resultados de los 32 cilindros de prueba.
11. Verificación del rendimiento de las dos (2) placas junto con las dos (2) vigas de prueba
12. Comparar los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio realizados
13. Conclusión de los resultados obtenidos
14. Informe e interpretación de los resultados finales

10.2. RECOPIACION DE INFORMACION

10.2.1. SELECCIÓN DEL MATERIAL

En principio debemos conocer cuáles son los materiales necesarios para la creación de un concreto convencional los cuales incluiría cemento, agregado fino y el agregado grueso. Pero a su vez, se necesita hallar una botella plástica que en su contorno físico no fuese tan delgada para obstaculizar el paso del agregado grueso ni tan ancha que se viese casi completamente lineal; de allí se concluye que la botella más óptima era la de Coca Cola Company de 600 ml por la esbeltez que contiene y su altura suficiente que cabe en los moldes de cilindros.

Necesite los materiales lo más pronto posible, por lo que se solicitó a la universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga una cantidad de bultos de cemento nuevo pero el laboratorio de materiales de ingeniería civil contenía suficiente material para llevar a cabo las pruebas aunque estos bultos de marca CEMEX llevaran entre 3 y 4 meses de almacenaje, por lo que decidimos usar ese material.

Tanto el agregado fino como el agregado grueso recién habían llegado a las instalaciones por lo que me pareció adecuado realizar los ensayos con esos materiales de roca.

Ilustración 2. Selección del material



En esta ilustración se puede evidenciar los materiales que se usaron en la práctica: Las botellas PET de Coca Cola Company, el cemento, el agregado fino y el agregado grueso

Fuente: Propia

10.2.2. GRANULOMETRIA

EL ensayo de granulometría o clasificación granulométrica, nos permite conocer las proporciones relativas de partículas, distribución de acuerdo al tamaño, origen de las propiedades mecánicas y su cálculo de abundancia en cada uno de los tamaños seleccionados de acuerdo al tipo de suelo (grava, arena, limo y arcilla), la cual puede ser expresada tanto en % como en números enteros o decimales. Los datos obtenidos en los diferentes ensayos de granulometría gruesa y granulometría fina son los siguientes:

Granulometría Gruesa

Tabla 2. Granulometría Gruesa

Peso de la muestra= **3000** gr

GLANULOMETRIA GRUESA						
TAMIZ	ABERTURA (mm)	Peso retenido	Peso Ret. Total	% Retenido	% Ret. Total	% Pasa
1"	25.4	0	0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	0	0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.7	95	95	3.17	3.17	96.83
3/8"	9.525	1145	1240	38.17	41.33	58.67
#4	4.75	1756	2996	58.53	99.87	0.13
#8	2.375	0	2996	0.00	99.87	0.13
Fondo		2	2998	0.07	99.93	0.07

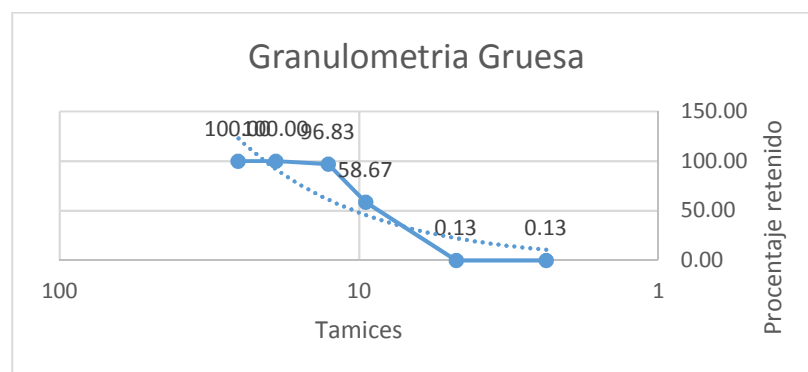
Total Pasa = 2998 gr 99.93 %

Módulo de Finura (M.F.)= 2.44

Tamaño Nominal (T.M.)= **1/2** in

Fuente: Propia

Grafica 1. Granulometría Gruesa



Fuente: Propia

Granulometría Fina

Tabla 3. Granulometría Fina

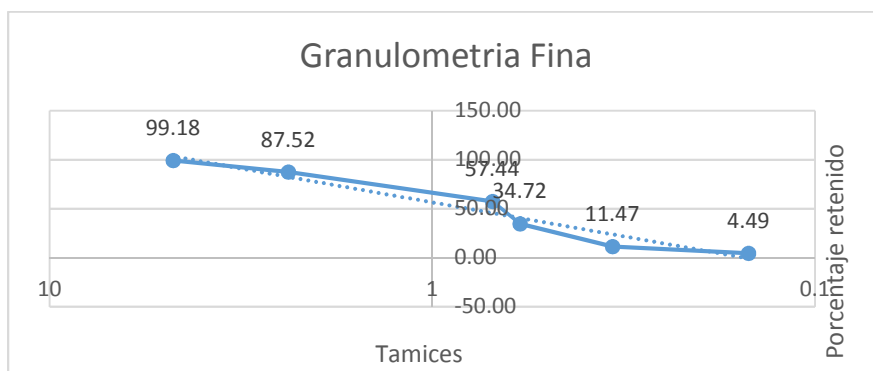
Peso de la muestra= **2000** gr

GLANULOMETRIA FINA						
TAMIZ	ABERTURA (mm)	Peso retenido	Peso Ret. Total	% Retenido	% Ret. Total	% Pasa
#4	4.75	16.4	16.4	0.82	0.82	99.18
#8	2.375	233.2	249.6	11.66	12.48	87.52
#16	0.696	601.6	851.2	30.08	42.56	57.44
#30	0.59	454.4	1305.6	22.72	65.28	34.72
#50	0.338	465	1770.6	23.25	88.53	11.47
#100	0.149	139.6	1910.2	6.98	95.51	4.49
Fondo		86	1996.2	4.30	99.81	0.19

Total Pasa = 1996.2 gr 99.81 %
Módulo de Finura (M.F.)= 3.05

Fuente: Propia

Grafica 2. Granulometría Fina



Fuente: Propia

Ilustración 3. Granulometría



Fuente: Propia

10.2.3. MASA UNITARIA

El presente ensayo de laboratorio y de acuerdo a las normas técnicas colombianas 237 y 176, tiene como objetivo determinar la masa por unidad de volumen de una muestra determinada en estado suelto y estado compacto, tanto para el agregado grueso como para el agregado fino, como lo muestra a continuación:

Agregado grueso

Tabla 4. Datos Previos masa unitaria del agregado grueso

DATOS PREVIOS		
Diámetro (D)	20.4	Cm
Altura (H)	30.25	Cm
Volumen (Vol)	9887.3	Cm ³
Peso 1	3965	Gr
Peso 2	3966	Gr
Peso 3	3964	Gr
Peso Promedio	3965.0	Gr

Fuente: Propia

Tabla 5. Masa Suelta + Molde, agregado grueso

Masa Suelta + Molde		
Peso 1	18779	Gr
Peso 2	18873	Gr
Peso 3	18671	Gr
Peso Promedio	18774.3	Gr
Masa Suelta	14809.3	Gr

Fuente: Propia

Tabla 6. Masa Compacta + Molde, agregado grueso

Masa Compacta + Molde		
Peso 1	19302	Gr
Peso 2	19395	Gr
Peso 3	19558	Gr
Peso Promedio	19418	Gr
Masa Compacta	15453.3	Gr

Fuente: Propia

Tabla 7. Masa Unitaria suelta, agregado grueso

Masa Unitaria Suelta		
Masa	14809.3	Gr
Volumen	9887.25	Cm3
Densidad	1.50	Gr/cm3
M.U.S.	1498	Kg/m3

Fuente: Propia

Tabla 8. Masa Unitaria compacta, agregado grueso

Masa Unitaria Compacta		
Masa	15453.3	Gr
Volumen	9887.25	Cm3
Densidad	1.56	Gr/cm3
M.U.C.	1563	Kg/m3

Fuente: Propia

Agregado fino

Tabla 9. Datos previos masa unitaria, agregado fino

DATOS PREVIOS		
Diámetro (D)	18.7	Cm
Altura (H)	18.7	Cm
Volumen (Vol)	5135.9	Cm3
Peso 1	3072	Gr
Peso 2	3071	Gr
Peso 3	3071	Gr
Peso Promedio	3071.3	Gr

Fuente: Propia

Tabla 10. Masa suelta + Molde, agregado fino

Masa Suelta + Molde		
Peso 1	10323	Gr
Peso 2	10296	Gr
Peso 3	10328	Gr
Peso Promedio	10316	Gr
Masa Suelta	7244.3	Gr

Fuente: Propia

Tabla 11. Masa compacta + Molde, agregado fino

Masa Compacta + Molde		
Peso 1	10655	Gr
Peso 2	10634	Gr
Peso 3	10725	Gr
Peso Promedio	10671	Gr
Masa Compacta	7600	Gr

Fuente: Propia

Tabla 12. Masa unitaria suelta, agregado fino

Masa Unitaria Suelta		
Masa	7244.3	Gr
Volumen	5135.88	Cm3
Densidad	1.41	Gr/cm3
	1411	Kg/m3

Fuente: Propia

Tabla 13. Masa unitaria compacta, agregado fino

Masa Unitaria Compacta		
Masa	7600	Gr
Volumen	5135.88	Cm3
Densidad	1.48	Gr/cm3
	1480	Kg/m3

Fuente: Propia

Ilustración 4. Masa Unitaria



Realizando la compactación del ensayo de la masa unitaria compacta del agregado grueso

Fuente: Propia

10.2.4. HUMEDAD NATURAL

La humedad natural es aquella que nos establece la relación gravimétrica entre el peso del agua y el peso de los sólidos, obtenido de manera sencilla un preámbulo de la resistencia y el comportamiento del suelo a estudiar regido por la cantidad de agua. Expresada en porcentaje.

Agregado grueso

Tabla 14. Humedad natural agregado grueso

AGREGADO GRUESO		
Peso Humedo	300	Gr
Peso Seco	284	Gr
Peso del Agua	16	Gr
Humedad	5.33	%

Fuente: Propia

Agregado fino

Tabla 15. Humedad natural agregado fino

AGREGADO FINO		
Peso Humedo	430.6	Gr
Peso Seco	387	Gr
Peso del Agua	43.6	Gr
Humedad	10.13	%

Fuente: Propia

10.2.5. GRAVEDAD ESPECÍFICA

Es la relación entre el peso (masa por gravedad) y el volumen que ocupa una sustancia. En nuestro caso, nos basamos de las normas Invias 222-07 (agregado fino) e Invias 223-07 (agregado grueso) para realizar los respectivos procedimientos de acuerdo a los equipos, cálculos, precisión y tolerancias a considerar.

Agregado grueso

Tabla 16. Gravedad específica del agregado grueso

DATOS PREVIOS		
P. Muestra seca	3041	Gr
P. Muestra Sup. Seca (S.S.S)	3067	Gr
P. Muestra Sumergida	1905	Gr
Peso Especifico del agua	1	Gr
P. especifico aparente (Yap)	2.62	Gr/cm ³
	2617.0	Kg/m ³
P. especifico aparente (S.S.S.)	2.64	Gr/cm ³
	2639.4	Kg/m ³
P. especifico nominal (Ynom)	2.68	Gr/cm ³
	2676.9	Kg/m ³
Absorcion	0.85	%

Fuente: Propia

Agregado fino

Tabla 17. Gravedad específica del agregado fino

DATOS PREVIOS		
Peso del material saturado	500	Gr
Picnometro + agua	690	cm ³
Picnometro + agua + arena	990	Gr
Peso Muestra secada	487	Gr
P. especifico aparente (Yap)	2.44	Gr/cm ³
	2435	Kg/m ³
P. especifico aparente (S.S.S.)	2.5	Gr/cm ³
	2500	Kg/m ³
P. especifico nominal (Ynom)	2.60	Gr/cm ³
	2604.28	Kg/m ³
Absorcion	2.67	%

Fuente: Propia

10.2.6. DENSIDAD DEL CEMENTO

De acuerdo a los procedimientos de la norma Inv E-307-13 que concierne la densidad del cemento, su principal utilidad está sujeta con el diseño y control de la mezcla. Realizamos esta prueba a una temperatura aproximada de 23°C (ambiente), con una duración aproximada de 30 minutos desde la lectura inicial hasta la lectura. Después de completar el ensayo, decidimos introducirlo en un balde de agua para regular su temperatura como lo dice la norma respectiva y se concluyó con los siguientes resultados:

Tabla 18. Densidad del cemento

DENSIDAD DEL CEMENTO		
Peso	64	Gr
Lectura Inicial	0.2	ml
Lectura Final	22.5	ml
Lectura Seca	23.1	ml
Lectura en agua	22.3	ml
Densidad	2.87	Gr/ml
		Gr/cm ³

Fuente: Propia

Ilustración 5. Densidad del cemento



Fuente: Propia

Ilustración 6. Densidad del cemento en agua



Esperando a que el agua estabilice la densidad del cemento

Fuente: Propia

10.2.7. CONSISTENCIA NORMAL

La consistencia normal nos permite conocer el agua necesaria para un peso de 500 gr de cemento de acuerdo a la norma Inv E-310-13 que a su vez nos da como referencia datos para la determinación del tiempo de fraguado, resistencia a la tensión, entre otras.

La idea es que durante 30 segundos pueda penetrar el cemento mezclado con agua y alcance 10 ± 1 mm de profundidad. En nuestro caso, después de más de 3 intentos fallidos, alcanzamos por fin 9mm por lo que es aceptable de acuerdo a la norma del año 2013, como lo mostrado en la siguiente tabla:

Tabla 19. Consistencia Normal

CONSISTENCIA NORMAL		
Peso	500 Gr	Se pasa
Volumen	150 ml	
Peso	500 Gr	Se queda
Volumen	140 ml	
Peso	500 Gr	Se queda
Volumen	145 ml	
peso	500 gr	se queda
volumen	148 ml	
peso	500 gr	10 mm
volumen	149 ml	

Fuente: Propia

Ilustración 7. Consistencia Normal



Procedimiento de consistencia normal mediante imágenes con los 500gr y los 149 ml.

Fuente: Propia

10.2.8. TIEMPO DE FRAGUADO

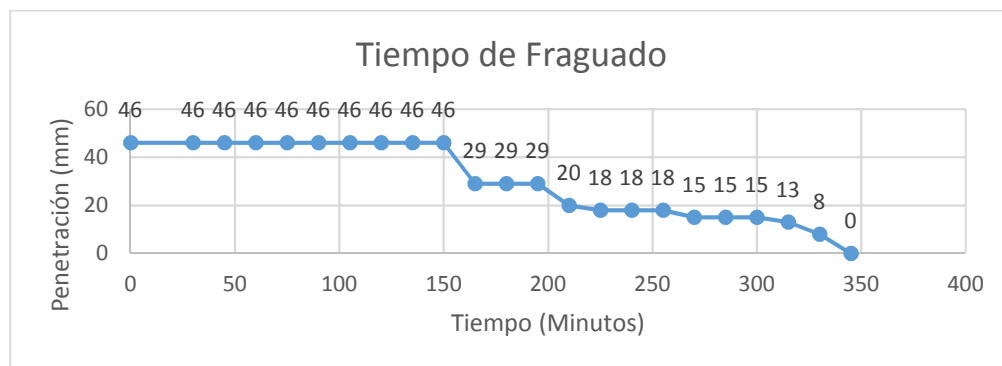
El tiempo de fraguado es aquel momento cuando la pasta previamente hecha de acuerdo a los datos obtenidos en el ensayo de consistencia normal, se vuelve visco elástica - plástica con una mayor resistencia al corte, es decir es cuando la mezcla deja de ser maleable fácilmente. Nos basamos de la norma Invias 306 para cumplir con el debido procedimiento y alcanzamos a obtener los siguientes resultados:

Tabla 20. Tiempo de fraguado

Tiempo de fraguado		
Tiempo	Minutos	MM
0:00'30"	0	46
0:30'00"	30	46
0:45'00"	45	46
1:00'00"	60	46
1:15'00"	75	46
1:30'00"	90	46
1:45'00"	105	46
2:00'00"	120	46
2:15'00"	135	46
2:30'00"	150	46
2:45'00"	165	29
3:00'00"	180	29
3:15'00"	195	29
3:30'00"	210	20
3:45'00"	225	18
4:00'00"	240	18
4:15'00"	255	18
4:30'00"	270	15
4:45'00"	285	15
5:00'00"	300	15
5:15'00"	315	13
5:30'00"	330	8
5:45'00"	345	0
Temperatura		20°C

Fuente: Propia

Grafica 3. Tiempo de Fraguado



Fuente: Propia

10.2.9. DISEÑO DE MEZCLA

Dentro de los diferentes métodos que existen para elaborar diseños de mezclas, nos encontramos con el método ACI. Un método que correlaciona la densidad del cemento con el módulo de finura, el peso específico aparente, el porcentaje de absorción, el porcentaje de humedad y el peso unitario compacto del agregado fino y el modulo finura, peso específico aparente, porcentaje de humedad, porcentaje de absorción, peso unitario compacto y el tamaño nominal del agregado grueso.

Este diseño nos solicita la resistencia requerida en Kg/cm^2 de acuerdo al uso del concreto basándose en el asentamiento máximo y mínimo. También, establecemos la cantidad de agua indispensable para una reacción indicada, la relación agua-cemento y finalmente las proporciones de cantidad.

Tabla 21. Relación A/C

Relacion	
A/C	0.44

Fuente: Propia

Tabla 22. Cantidad de cemento

Cemento			
Cantidad	455	Kg	Para 1 m3

Fuente: Propia

Tabla 23. Proporciones

Relaciones			
A	C	F	G
0.40	1	1.64	1.66
	1	2	2

Fuente: Propia

Ilustración 8. Diseño de mezcla



Realizando el proceso respectivo del mezclo para obtener la consistencia adecuada

Fuente: Propia

10.3. CONSTRUCCION DE MUESTRAS

10.3.1. CONSTRUCCION DE BOTELLAS

Se realizaron en total 74 botellas repartidas de la siguiente manera: 12 botellas para la creación de cilindros a fallar a compresión, 8 botellas para la viga a fallar a flexión y 54 botellas para el interior de la placa de concreto para fallar a compresión. Se recolectaron grandes cantidades de polímeros reciclables originados de diferentes licorerías, locales de comidas rápidas, ferreterías, papelerías, tiendas entre otros. Este proceso de recolección duro aproximadamente 1 mes.

De primero las botellas de Coca Cola Company de 600 ml se lavaban quitando cualquier residuo líquido en su interior y el plástico promocional de alrededor. Después, se enjuagaba su respectiva tapa y juntos se ponen al sol durante un tiempo considerable para su respectivo secado. En el tercer paso, se selecciona el plástico a introducir en tamaños medianos o pequeños. Por último, se va introduciendo el polímero seleccionado y a su vez compactándolo mediante un palo de madera de 30cm de longitud con el mismo diámetro que la boca de la botella PET hasta su llenado completo.

Dentro de los polímeros recolectados me pude encontrar con residuos de hogar como las bolsas de leche secas, bolsas de detergente limpias, bolsas de azúcar, bolsas de granos, entre otros desechos reciclables de cocina; residuos de tiendas como paquete de golosinas limpias, paquetes de galletas, bolsas de papas fritas, envolturas de dulces, etc.; residuos de ferreterías como papeles plastificados, empaques de plásticos limpios, entre otros; y finalmente, residuos de licorerías como el plástico que envuelve a paquetes grandes de latas de cervezas, plástico en forma de anillo que une 6 latas de soda (six-pack) y demás.

El peso de las botellas rellenas con residuos plásticos compactados en su interior oscila entre 267 gr y 304 gr. Así sucesivamente se continuó el proceso hasta completar las 74 botellas necesarias para llevar a cabo el trabajo experimental de investigación.

Ilustración 9. 63 Botellas Compactadas



En esta imagen se pueden visualizar todas las botellas que se usaron en la obtención de muestras

Fuente: Propia

Ilustración 10. Parte Inferior de las Botellas Compactadas



Así es como se evidencian la terminación de la botellas compactadas

Fuente: Propia

Ilustración 11. Proceso de pesado



Proceso de pesado de las botellas usadas en los cilindros a fallar

Fuente: Propia

10.3.2. CONSTRUCCION DE CILINDROS

Se elaboran en total 32 especímenes de 30cm de altura con 15cm de diámetro, colocando el concreto dentro del molde en 3 capas iguales de 10cm cada una. Cada capa con 25 penetraciones uniformes alrededor de toda el área y usando el extremo redondeado de la varilla respectiva. Durante todo el proceso se golpea ligeramente con un martillo de hule en las paredes para cerrar posibles orificios y expulsar el aire atrapado.

Los primeros 10 cilindros se hicieron totalmente de concreto simple de 28 Mpa siguiendo con el proceso anterior.

Los siguientes 11 cilindros se crearon con una botella plástica PET compactada en su interior. Inicialmente se introdujo una capa de concreto, después se puso la botella en todo el centro del molde del cilindro haciendo presión hacia la presión inferior, luego se procedió a agregar la segunda capa por los extremos dentro del molde y por tercero, se tapó completamente el molde con la tercera capa de concreto.

En los últimos 11 cilindros, se determinó la cantidad de tapas plásticas que igualan una botella PET de 600 ml y se reemplazó ese volumen dentro del molde de cilindro siguiendo con el mismo proceso de las 3 capas de concreto anterior.

Ilustración 12. Acumulación de Materiales



Acopio de materiales para realizar una mezcla satisfactoria en la elaboración de los cilindros, vigas y placas

Fuente: Propia

Ilustración 13. Cilindro con Botella en su interior



Proceso de fabricación de los cilindros con botellas PET

Fuente: Propia

Ilustración 14. Cilindros



Terminación de todos los cilindros para fallar a 7, 14 y 28 días

Fuente: Propia

Ilustración 15. Tiempo de Curado



Acopio para tiempo de curado hasta la altura completa de los cilindros

Fuente: Propia

10.3.3. CONSTRUCCION DE VIGAS

Después de conocer el resultado de los 7 días de los cilindros, se consideró que no era necesario realizar vigas para las tapas plásticas por lo que solo se hicieron 2 especímenes con 60cm de longitud x 15cm de ancho x 15cm de alto.

Durante el proceso de cada espécimen, se le golpeo constantemente con un martillo de hule alrededor del molde, penetraciones de varillas la mayor cantidad posible y dividiendo el llenado en 3 capas iguales de a 5cm cada uno.

El primer espécimen consistió que los 13500cm³ de volumen que contiene cada molde fueran de concreto macizo mientras que el otro molde que teníamos contenía 8 botellas PET en su interior de forma horizontal. Inicialmente se unieron de a dos botellas PET de Coca Cola Company alineadas tanto en el lugar donde se encuentra la tapa plástica respectiva como en la parte inferior, por lo que en realidad al final tendríamos 4 paquetes de a dos botellas PET cada uno. Luego, se procedió a unir un par con el otro en diferente sentido, lo cual resultaríamos con 2 paquetes de a 4 botellas cada uno. Finalmente, los dos últimos paquetes se contra pusieron y se unieron tapa con tapa.

Ilustración 16. Elaboración de Vigas



Diseño de la viga con las botellas PET

Fuente: Propia

Ilustración 17. Vigas



Terminación de las dos (2) vigas a fallar a flexión a los 28 días

Fuente: Propia

10.3.4. CONSTRUCCION DE PLACAS

Se crearon 2 placas de concreto de 100cm de la largo X 50cm de ancho X 17cm de altura para un total de 85000cm³ cada una. El diseño de mezcla usado en estas placas es el mismo diseño usado para la elaboración de los 32 cilindros y las 2 vigas. La primera placa está constituida solamente de concreto, mientras tanto la segunda placa tiene un total de 54 botellas PET en su interior acopladas de la siguiente manera:

Se amarran todas las botellas plásticas PET tanto de la parte superior como de la inferior formando tríos orientando las tapas hacia una misma dirección con el mismo hilo de cáñamo usado para formar el paquete de la viga; después se contra ponen las tapas plásticas de los grupos de a 3 y así sucesivamente. Luego, esos grupos de 6 botellas de tereftalato de polietileno se unen con otro grupo de 6 hasta unir el total de 54 botellas PET. Así, quedarían 27 botellas tanto en la parte derecha como en la parte izquierda.

Cuando se tienen todas las botellas compactadas amarradas se procede a apretarlas con un hilo de cáñamo en todas las direcciones para que no tenga posibilidad alguna de moverse en algún sentido.

En las siguientes ilustraciones, podremos evidenciar paso a paso como fue la elaboración de esta placa en concreto.

Ilustración 18. Primera Etapa de Placa



Modelo patrón de cómo se van a formar los demás tríos de botellas PET

Fuente: Propia

Ilustración 19. Segunda Etapa de Placa



Acopio de todas las botellas PET que van a ser usadas en la placa

Fuente: Propia

Ilustración 20. Tercera Etapa de Placa



Se puede ver la vista horizontal de las botellas usadas en la placa

Fuente: Propia

Ilustración 21. Cuarta Etapa de Placa



Esta imagen se puede visualizar la longitud total de las botellas PET usadas en la placa

Fuente: Propia

Ilustración 22. Quinta Etapa de Placa



Aquí se realiza el proceso de punzado del concreto a través de las botellas PET para disminuir los posibles espacios vacíos

Fuente: Propia

11. RESULTADOS

11.1. ASENTAMIENTOS

Según el método ACI, el asentamiento adecuado para el pavimento como tipo de uso de construcción debe encontrarse entre 2.5cm como mínimo y 5cm como máximo. Pues, eso fue lo que debíamos lograr desde un principio, que nuestra mezcla no fuese lo suficientemente seca para tener una maleabilidad difícil ni tan suficientemente plástica que tuviese una textura líquida.

La consistencia o fluidez del concreto la evidenciamos mediante el ensayo de asentamiento del concreto o la prueba del cono de Abrams, la cual se basa en la Norma Técnica Colombiana 396 (NTC-396) que consiste en rellenar un cono hueco con 3 capas de concreto, 25 penetraciones de varilla con punta redondeada en cada una y soltándolo suave después de agregar la última capa enrasada. Cabe anotar que el diámetro mayor del cono se coloca en contacto con el suelo y se realiza esta prueba antes de cualquier procedimiento de construcción.

Ilustración 23. Asentamiento Normal. 2.9cm



Fuente: Propia

Ilustración 24. Asentamiento de Botellas. 3.5cm



Fuente: Propia

Ilustración 25. Asentamiento con Tapas. 2.7cm



Fuente: Propia

11.2. FALLOS DE CILINDROS

El día 26 de septiembre del año 2016 se fallaron los primeros cilindros a los 7 días (4 cilindros de cada espécimen para un total de 12 cilindros fallados). A la semana siguiente, el día 3 de octubre del año 2016 se fallaron nuevamente cilindros, pero en este caso con la intención de obtener resultados a 14 días (2 muestra de cilindro con botella en un interior, 2 muestras de cilindro con tapas plásticas en su interior y 1 muestra de cilindro con concreto convencional). Más adelante, el día 17 de octubre del año 2016 se falló el resto de cilindros del cuarto de curado con el fin de obtener el mayor resultado posible a la compresión de cada mezcla (5 especímenes de cada uno).

En el transcurso de los 28 días se mantuvo constante humedad y se fallaron 32 cilindros de 15cm de diámetro por 30cm de altura elaborados con el concreto simple diseñado. Mediante fórmulas basadas en las normas respectivas alcanzamos a conocer el volumen en cm^3 , la carga en Kgf, su respectiva densidad (Gr/cm^3) y finalmente su esfuerzo en Kg/cm^2 .

Ilustración 26. Cilindros a 7 días



Aquí se muestran la totalidad de los cilindros después de fallar a los 7 días

Fuente: Propia

Ilustración 27. Cilindros a 14 días



Aquí se muestran la totalidad de cilindros antes de fallar a los 14 días

Fuente: Propia

11.2.1. FALLOS DE CILINDROS CON CONCRETO NORMAL

Tabla 24. Fallos de cilindro con concreto normal

Concreto Normal											
N°	Fecha de enayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)	Volumen (cm ³)	Masa (g)	Carga		Densidad (Gr/cm ³)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
								KN	Kg		
1	26/09/2016	7	15	30.4	176.71	5372.12	12415	158.9	16203	2.31	91.69
2	26/09/2016	7	15.2	30	181.46	5443.75	12752	174.5	17794	2.34	98.06
3	26/09/2016	7	15.4	30.4	186.27	5662.46	12677	150.5	15347	2.24	82.39
4	26/09/2016	7	15.2	30.4	181.46	5516.34	12445	138.8	14154	2.26	78.00
										Promedio	87.54
5	03/10/2016	14	15.4	30.3	186.27	5643.83	12796	176.9	18039	2.27	96.84
										Promedio	96.84
6	20/10/2016	28	15.4	30.1	186.27	5606.58	12723	299.18	30508	2.27	163.79
7	20/10/2016	28	15.5	29.9	188.69	5641.89	12654	273.75	27915	2.24	147.94
8	20/10/2016	28	15.5	30.0	188.69	5660.76	12711	265.56	27080	2.25	143.51
9	20/10/2016	28	15.3	30.1	183.85	5534	12698	241.69	24646	2.29	134.05
10	20/10/2016	28	15.4	29.9	186.27	5569.32	12831	256.98	26205	2.30	140.68
										Promedio	145.99

Fuente: Propia

Ilustración 28. Falla concreto normal



Vista de una falla común en los cilindros del concreto normal

Fuente: Propia

11.2.2. FALLOS DE CILINDROS CON UNA BOTELLA EN SU INTERIOR

Tabla 25. Fallos de cilindros con una botella en su interior

Concreto con Botellas											
N°	Fecha de enayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)	Volumen (cm ³)	Masa (g)	Carga		Densidad (Gr/cm ³)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
								KN	Kg		
1	26/09/2016	7	15.3	30.4	183.85	5589.16	11344	130.1	13267	2.03	72.16
2	26/09/2016	7	15.3	30.3	183.85	5570.77	11195	120.3	12267	2.01	66.72
3	26/09/2016	7	15.2	30.3	181.46	5498.19	11250	132.4	13501	2.05	74.40
4	26/09/2016	7	15.2	30.4	181.46	5516.34	11435	117.3	11961	2.07	65.92
Promedio											69.80
5	03/10/2016	14	15.6	30.4	191.13	5810.49	11679	134.4	13705	2.01	71.70
6	03/10/2016	14	15.3	30.4	183.85	5589.16	11553	147.8	15071	2.07	81.97
Promedio											76.84
7	20/10/2016	28	15	30.8	176.71	5442.81	11380	103.31	10535	2.09	59.61
8	20/10/2016	28	15.4	30.1	186.27	5606.58	11637	193.17	19698	2.08	105.75
9	20/10/2016	28	15.2	30.3	181.46	5498.19	11314	150.23	15319	2.06	84.42
10	20/10/2016	28	15.4	30.3	186.27	5643.83	11516	210.93	21509	2.04	115.47
11	20/10/2016	28	15.3	30.0	183.85	5515.62	11529	180.34	18390	2.09	100.02
Promedio											93.06

Fuente: Propia

Tabla 26. Muestras con botellas

Muestra con Botella								
N°	Gramos			%			KN	Tiempo
	Peso Botella	Peso Concreto	Peso Cilindro	Plastico	Concreto	Total	1Kgf/Cm ²	Dia
1	303	11041	11344	2.67	97.33	100	130.1	7
2	283	10912	11195	2.53	97.47	100	120.3	7
3	275	10975	11250	2.44	97.56	100	132.4	7
4	285	11150	11435	2.49	97.51	100	117.3	7
5	304	11375	11679	2.60	97.40	100	134.4	14
6	294	11259	11553	2.54	97.46	100	147.8	14
7	281	11099	11380	2.47	97.53	100	103.3	28
8	301	11336	11637	2.59	97.41	100	193.17	28
9	293	11021	11314	2.59	97.41	100	150.23	28
10	267	11249	11516	2.32	97.68	100	210.93	28
11	295	11234	11529	2.56	97.44	100	180.34	28

Fuente: Propia

Ilustración 29. Separación del concreto



Aquí se puede evidenciar la separación del cilindro después de fallar a 14 días

Fuente: Propia

Ilustración 30. Huella de la botella



En esta imagen se representa la forma cónica que toma el concreto al fallar después de 28 días

Fuente: Propia

Ilustración 31. Falla columnar



Se muestra las grietas y separaciones que toma el concreto de los cilindros después de fallar columnarmente

Fuente: Propia

Ilustración 32. Huella parte inferior de la botella



Se pudo obtener la forma que toma el concreto con el diseño de la botella PET en la parte inferior

Fuente: Propia

Ilustración 33. Separación en 3 del concreto



Esta es una forma inusual en la que se presentó la falla de los cilindros con botellas PET en su interior, se dividió tres (3) partes de manera vertical la muestra

Fuente: Propia

11.2.3. FALLOS DE CILINDROS CON TAPAS PLASTICAS

Tabla 27. Fallos de cilindros con tapas plásticas

Concreto con Tapas											
N°	Fecha de enayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)	Volumen (cm ³)	Masa (g)	Carga		Densidad (Gr/cm ³)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
								KN	Kg		
1	26/09/2016	7	15.3	30.4	183.85	5589.16	12367	92.5	9432.4	2.21	51.30
2	26/09/2016	7	15.1	30.5	179.08	5461.9	12181	132.4	13501	2.23	75.39
3	26/09/2016	7	15.5	30.2	188.69	5698.5	12578	128.5	13103	2.21	69.44
4	26/09/2016	7	15.1	30.4	179.08	5443.99	12165	123.3	12573	2.23	70.21
Promedio											66.59
5	03/10/2016	14	15.3	30.7	183.85	5644.31	12161	125.8	12828	2.15	69.77
6	03/10/2016	14	15.4	30	186.27	5587.95	12177	125.3	12777	2.18	68.60
Promedio											69.18
7	20/10/2016	28	15.1	30.5	179.08	5461.9	12293	150.81	15378	2.25	85.87
8	20/10/2016	28	15.6	30.3	191.13	5791.38	12522	192.52	19632	2.16	102.71
9	20/10/2016	28	15.1	29.5	179.08	5282.82	11705	163.81	16704	2.22	93.28
10	20/10/2016	28	15.3	30.4	183.85	5589.16	12211	172.15	17554	2.18	95.48
11	20/10/2016	28	15.5	30.0	188.69	5660.76	12539	217.22	22150	2.22	117.39
Promedio											98.95

Fuente: Propia

Ilustración 34. Fallo de tapas plásticas



Aquí se presenta la falla de un cilindro elaborado con tapas plásticas a los 7 días

Fuente: Propia

11.2.4. RESULTADOS DE LOS FALLOS EN CILINDROS

Ilustración 35. Resultados de los fallos en cilindros

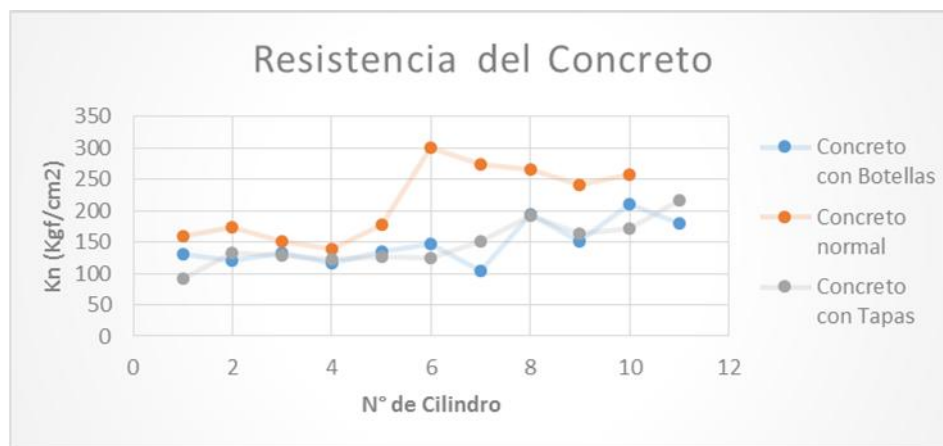


En esta imagen se evidencia la forma como fallaron los cilindros con la botella PET en su interior

Fuente: Propia

Durante los primeros 7 días, el resultado de los 3 especímenes fue muy parecido por lo que no se podía identificar una tendencia de comportamiento. A la edad de los 14 días, el concreto convencional se alejó superiormente de las otras 2 muestras, y finalmente hacia la edad de los 28 días en concreto hidráulico normal siempre se mantuvo por encima de los otros 2, los cilindros con la botella de plástico PET en su interior finalizo en el segundo puesto en cuanto a la resistencia a la compresión mientras el concreto con tapas plásticas tuvo la resistencia más baja. Como lo manifestado en la siguiente gráfica:

Gráfica 4. Resistencia del Concreto en los Cilindros



Fuente: Propia

Por otro lado, los fallos de los cilindros con la botella de tereftalato de polietileno siempre fallaron por el lado de la unión entre el plástico y el concreto hidráulico que lo recubre.

11.3. MICROSCOPIO ELECTRONICO

Mediante el uso de electrones en un lugar de luz visible y a través del microscopio electrónico, evidencie todos los elementos químicos que existían en esa mezcla con la intención de conocer con mayor exactitud el porcentaje de adherencia entre el concreto usado con la botella.

Al iniciar el procedimiento tomamos una muestra representativa de concreto con 1cm de diámetro que se encontraba dentro de uno de cilindros fallado a los 7 días que contenía una botella PET en su interior. Se localizada más exactamente en la unión entre la tapa plástica y el tereftalato de polietileno (PET).

El procedimiento inicio cerca de las 10:30am del día 29 de septiembre del año 2016 con un bañado completo de oro para poder tener la mayor capacidad de aumento posible en ese elemento físico. Cerca de las 2:00pm cuando el roció había llegado al límite máximo, procedimos a introducir dentro del microscopio electrónico de marca BUKER; Al principio pudimos medirlo de diferentes maneras tanto su altura como su longitud y su ancho, para determinar a qué magnitud física de material nos estábamos enfrentando.

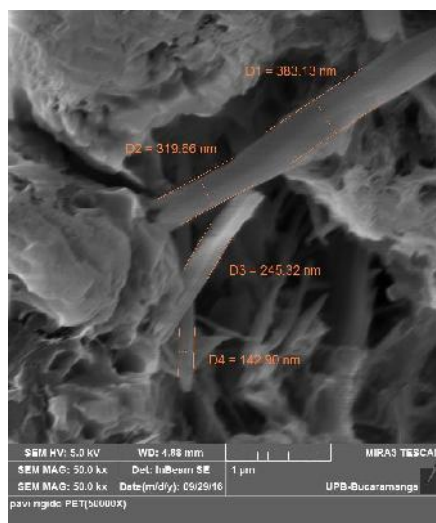
Luego, seleccionamos una zona determinada y fuimos poco a poco hacia su núcleo con el zoom máximo permitido sin distorsionar la imagen HD (High Definition). Alcanzamos un máximo de 100000X lo que significa que logramos 100.000 veces su tamaño original de aumento 1:1. Procedimos a esa distancia medir en nanómetros las diferentes zonas que íbamos a estudiar.

Fuimos pedazo por pedazo con su tiempo necesario para sacarle el mayor provecho al alcance de nuestras manos. Las áreas a continuación las estudiamos a 50.000x; la primera área tiene 383.13nm de longitud, la siguiente tiene 319.66nm de largo, la tercera zona tiene 245.32nm de ancho y finalmente, la cuarta zona tiene 142.90nm de extremo a extremo en forma horizontal. En cada zona mediante diferentes aumentos conocimos el porcentaje de cantidad por cada elemento, la energía que irradia cada elemento químico y el porcentaje de error posible contenido.

En la mayoría de los casos encontramos obviamente el silicio por ser uno de los elementos químicos más importantes contenidos en el cemento como el oxígeno y el carbono. Cabe anotar que en todos los plásticos existentes el carbono y el oxígeno son predominantes. Igualmente nos enfrentamos con el calcio, lo cual consideramos que es proveniente del polímero usado, aunque no pudimos establecer específicamente si es original de la tapa plástica o de la botella de tereftalato de polietileno que nos da como conclusión que si existió en algún momento una especie de adherencia, claro está que este porcentaje que manifestó es bajo frente a los demás elementos de tabla periódica.

Terminamos nuestro ciclo investigativo cerca de las 5:00pm considerando que habíamos cumplido con los objetivos establecidos de analizar a profundidad y de distintas maneras nuestra muestra de concreto.

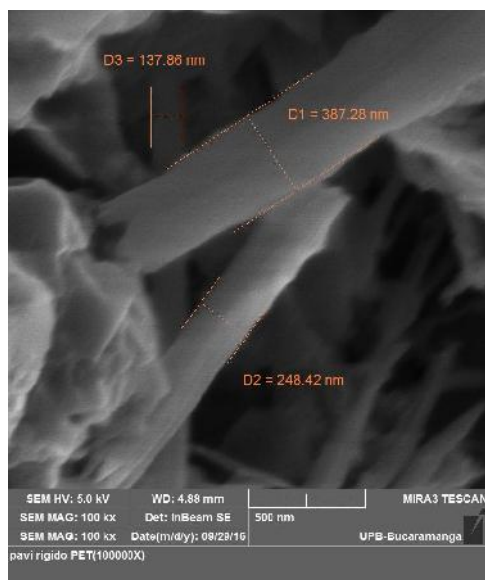
Ilustración 36. Microscopio a 50000X



Esta es la imagen que presenta el microscopio electrónico a aumento de 50000 veces su imagen 1:1 donde se evidencia partes de tereftalato de polietileno mezclado con el concreto y sus respectivas dimensiones en unidad de nanómetros

Fuente: Propia

Ilustración 37. Microscopio a 100000X



Seleccione una parte específica del anterior aumento para conocer con mayor exactitud las dimensiones el espectro electromagnético de los elementos químicos que lo componen

Fuente: Propia

Todo lo anterior se describe más específicamente en el documento anexo compuesto por 12 páginas titulado “pavi rígido PET” en sus gráficas, tablas, imágenes y conclusiones respectivas.

11.4. FALLO DE VIGAS

El día 31 de octubre del año 2016, a los 28 días de haber creado las vigas, se fallaron por flexión. Primero se le hizo la prueba de carga a la viga de concreto convencional con 59cm de longitud, 15.3cm de altura y 15cm de ancho. Su respectiva prueba fue simplemente apoyada y cargada en los tercios de la luz libre, duro 34.2 segundos y alcanzo una resistencia máxima de 18803.65N. Su falla fue súbita separándose evidentemente en dos partes y dentro del segundo L/3, lo cual demuestra que su punto de quiebre se encontró dentro de los parámetros estándares de falla según norma.

Por otro lado, se encuentra la viga que contiene 8 botellas PET en su interior, con un peso ligeramente más liviano y con dimensiones parecidas a la viga de concreto simple (longitud de 59 cm, ancho de 15.2cm y una altura de 15 cm). Se hizo el mismo método de operación para conocer la carga máxima y su tipo de falla. Finalmente, alcanzo una resistencia máxima a la flexión de 10546.69N y su falla se localizó dentro del segundo L/3, aunque en este espécimen su punto de quiebre no fue súbito. Se rasgaba poco a poco desde la parte inferior hasta la superior y cuando finalmente había concluido su ciclo alrededor de 25.2 segundos nunca se separó porque el tereftalato de polietileno contenido en su interior no dejaba tal acción.

Hay que recordar que la norma específica que su módulo de rotura (MR) debe estar cerca del 10% al 20% de la resistencia a la compresión, en dependencia del tipo, dimensiones y volumen del agregado utilizado.

A continuación, demostramos la serie de datos obtenidos en el laboratorio:

$$R = \frac{p * l}{b * d^2}$$

Tabla 28. Viga normal

DATOS OBTENIDOS DE LA VIGA CONVENCIONAL	
P. Carga máxima aplicada (N)	18803.65
Ancho de la viga (mm)	15.3
Altura de la viga (mm)	15
Luz libre entre apoyos (mm)	590
Resistencia a compresión del concreto (psi)	4000

Fuente: Propia

$$R = \frac{1 \quad .6 * 5}{1 * 1^2} \cong 3.2 \quad M$$

(4000*0.007*0.1 = 2.8Mpa) Cumple

Ilustración 38. Fallo viga normal en maquina



Fuente: Propia

Tabla 29. Viga con botellas

DATOS OBTENIDOS DE LA VIGA CON BOTELLAS	
P. Carga máxima aplicada (N)	10546.69
Ancho de la viga (mm)	15.2
Altura de la viga (mm)	15
Luz libre entre apoyos (mm)	590
Resistencia a compresión del concreto (psi)	4000

Fuente: Propia

$$R = \frac{1 \cdot .6 \cdot 5}{1 \cdot 1 \cdot 2} \cong 1.8 \text{ M}$$

(4000*0.007*0.1 = 2.8Mpa) No cumple

Ilustración 39. Fallo viga con botellas en maquina



Fuente: Propia

Ilustración 40. Falla lateral de viga con botella



Fuente: Propia

Ilustración 41. Falla superior de viga con botella



Fuente: Propia

En las imágenes anteriores pudimos observar que la viga constituida con botellas plásticas PET tiene una serie de espacios vacíos debido a la gran dificultad de llegar a esos lugares al momento de compactar.

11.5. FALLO DE PLACAS

Con respecto a las placas que fundimos; Se trató de hacer en similitud las dos placas a fallar, aunque la dificultad con la segunda placa, la cual está compuesta de botellas dificulto un poco la cobertura del concreto en su totalidad.

Se hicieron 2 placas de concreto simple de 4000psi con unas dimensiones establecidas de 100cm de longitud con 50cm de ancho y 17cm de espesor. La primera está elaborada en su totalidad con el concreto mencionado mientras la segunda contiene 48 botellas PET de 600cm³ cada una para un total de 28800cm³ de polímeros reciclados y compactados en su interior, unidos de la siguiente manera:

Al principio se unieron del mismo sentido que se unieron las botellas de tereftalato de polietileno de las vigas, es decir se amarraron de a tríos con la tapa plástica hacia la misma dirección tanto en la parte superior como en la inferior. Después, se contrapusieron los grupos de a tres botellas y se volvieron a sujetar con cáñamo e igualmente tanto en la parte de la tapa plástica de botella como en la parte inferior de la misma. Así se continuo sucesivamente hasta llegar a una longitud de 98cm para lo cual completaba 54 especímenes, 27 en la línea derecha y 27 en la línea izquierda.

En el momento de formatear, se aplicó una capa delgada y con muy poca altura de concreto simple para darle un poco de soporte las botellas en la parte inferior de la formaleta. Continuamos con poner la unión de botellas encima de ello y recubrirla de concreto por todas las direcciones mediante el palo del ensayo de cono de arena y pegándole consecutivamente con una porra de caucho alrededor de la placa metálica para disminuir la relación de vacíos y aumentar la compactación por los lugares más inhóspitos de la placa de concreto con botellas de tereftalato de polietileno.

Ilustración 42. Maquina universal



Fuente: Propia

Ilustración 43. Falla placa normal



Fuente: Propia

Ilustración 44. Falla inferior placa con botellas



Fuente: Propia

Ilustración 45. Falla superior placa con botella



Fuente: Propia

Ilustración 46. Resistencia máxima placa normal



Fuente: Propia

Ilustración 47. Resistencia máxima placa con botellas



Fuente: Propia

Al momento de fallar estos especímenes, tuvo que usarse grúa para el transporte hacia la máquina universal por el gran peso que contenían. Primero, se falló la placa convencional que como se puede apreciar en las imágenes tuvo un corte súbito transversalmente en todo el centro de la placa.

12. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

1. Ante la eventualidad de posibles datos inadecuados, se propone realizar ensayos adicionales en las tres (3) muestras diferentes de cilindros, vigas y placas de concreto hidráulico para así poder corroborar la información y ser más exactos en los resultados.
2. Se recomienda la continuación de este proceso investigativo, debido a que solo se realizaron pruebas físicas a unidades individuales. Por lo que es necesario e importante realizar otra serie de pruebas como las químicas y mecánicas de manera conjunta.
3. Se sugiere impulsar y estimular proyectos teniendo en cuenta el aprovechamiento y recuperación de los residuos sólidos, para que sean implementados en los diferentes procesos de construcción.
4. Con el fin de solucionar el inconveniente de contacto entre el concreto hidráulico y las paredes externas de las botellas plásticas PET, se aconseja indagar mas acerca del tema y buscar posibles soluciones en los diferentes materiales ya existentes.
5. Se invita a repetir los ensayos anteriormente realizados en los que se implementaron las botellas plásticas PET en su interior como una adición, pero esta vez cambiándoles el relleno por materiales mas pequeños pero que también sean reciclables.

13. CONCLUSIONES

Los materiales identificados fueron botellas plásticas PET (tereftalato de polietileno) rellenos con residuos plásticos de paquetes de golosinas, galletas, papas fritas, dulces, entre otras; Bolsas que contenían cereales, arroz, azúcar y granos; Papeles plastificados y bolsas de mercado, y finalmente bolsas de leche y contenedores de detergentes. Teniendo en cuenta que estos desechos deben ser debidamente verificados que se encuentren limpios y secos.

Se consideró un aprovechamiento total de los desechos plásticos, ya que este material fue recuperado de distintos lugares dentro de la ciudad de Bucaramanga como licorerías, tiendas, papelerías y hogares, tanto el relleno seleccionado como las botellas plásticas en general.

Ilustración 48. Datos de reciclaje



Fuente: La republica (2016). Tomado y adaptado por http://www.larepublica.co/solo-26-de-las-botellas-plasticas-se-recicla_357536

✓ Con respecto a las 3 diferentes muestras de cilindros

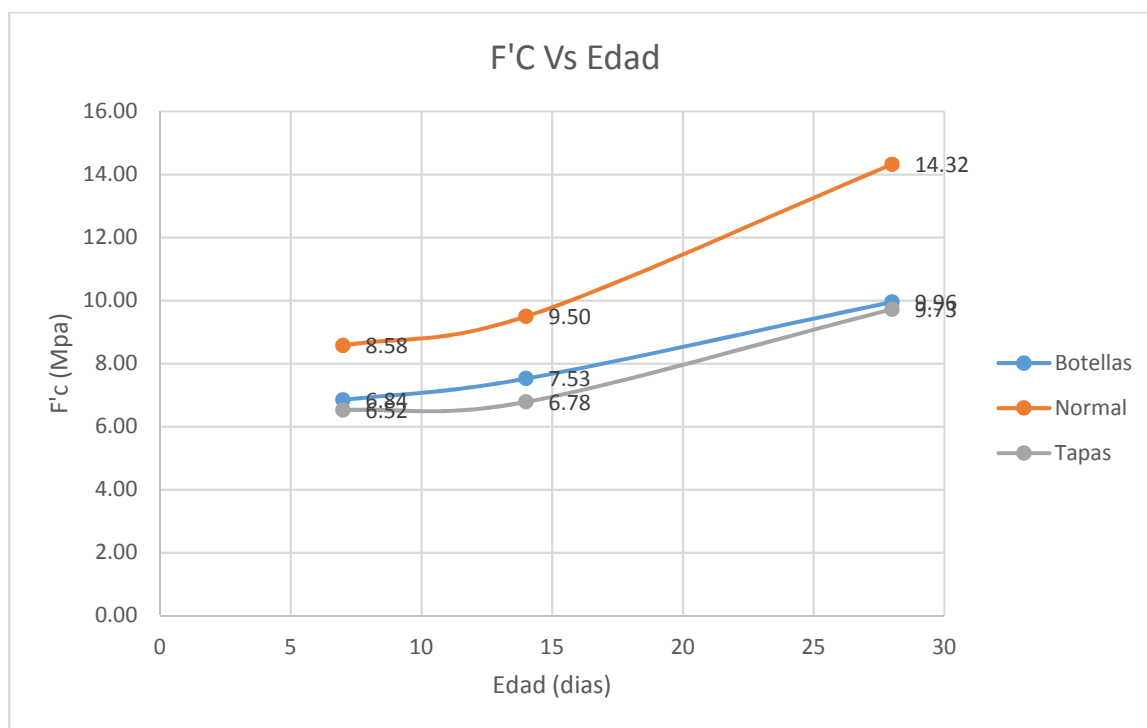
La fabricación de estos cilindros, especialmente los elaborados con residuos plásticos de nuestro diario vivir, demostraron que independientemente de su valor comercial, estos desechos tienen un alto aprovechamiento en el sector de las vías. Los cilindros elaborados resultaron ser óptimos a ciertas cargas a la cual fueron sometidas.

Se encontraron los siguientes resultados de resistencia: para las muestras patrón estas fueron de 8,58 Mpa a los 7 días, 9,50 Mpa a los 14 días y 14,32 Mpa a los 28 días.

Adicionalmente para las muestras con tapas plásticas se encontraron los resultados de 6,52 Mpa a los 7 días, 6,78 Mpa a los 14 días y 9,73 Mpa a los 28 días.

Y en cuanto a las muestras realizadas en concreto con botella PET se evidenciaron los siguientes resultados: 6,84 Mpa a los 7 días, 7,53 Mpa a los 14 días y 9.96 Mpa a los 28 días.

Grafica 5. F'c Vs Edad



Fuente: Propia

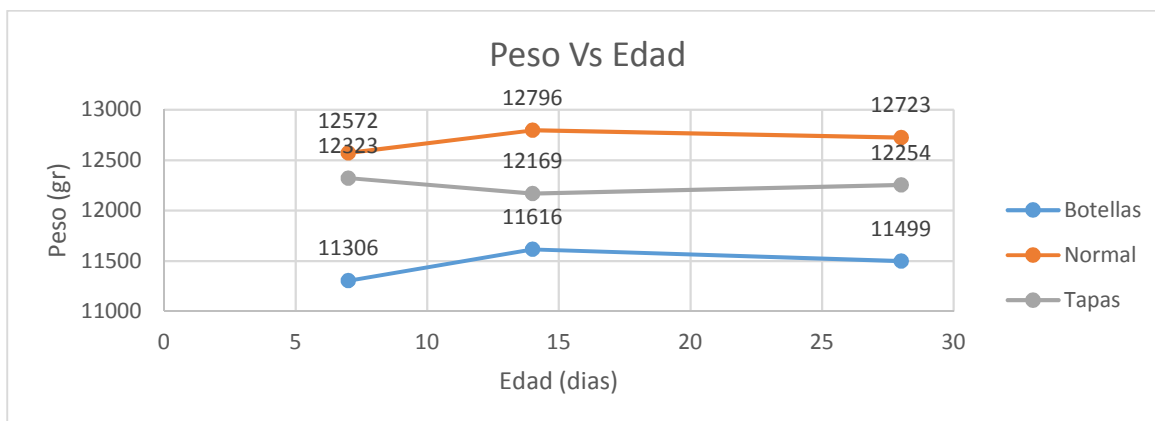
Con referente a las densidades, las muestras cilíndricas diseñados con las botellas plásticas PET en su interior y rellenas con residuos plásticos, presentaron densidades con un aligeramiento significativo entre 1100 y 1300 gramos por unidad, teniendo en cuenta que el mayor peso alcanzado de las muestras de cilindros convencionales fue de 12831 gramos y el mayor peso alcanzado de la muestra aligerada fue de 11679 gramos.

Esto a su vez hizo que las muestras aligeradas con botellas PET alcanzaran valores entre 2,01 - 2,07 gr/cm³ para 7 días, 2,01 - 2,07 gr/cm³ para 14 días y entre 2,04 - 2,09 gr/cm³ para 28 días.

Por otro lado, las muestras patrón oscilaron entre 2,24 - 2,31 gr/cm³ para 7 días, 2,27 gr/cm³ para 14 días y entre 2,24 - 2,30 gr/cm³ para 28 días.

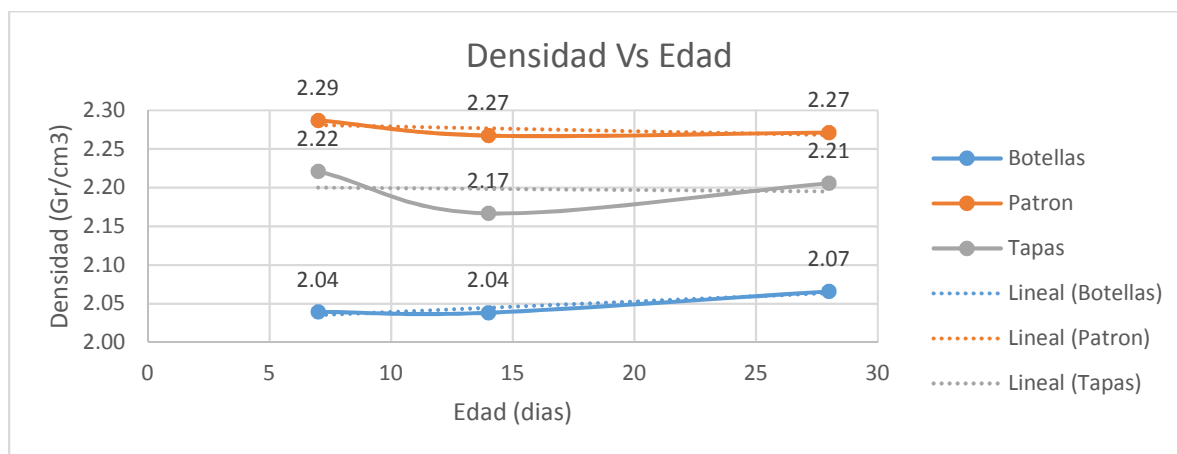
Referente a las muestras con tapas plásticas mostraron resultados entre 2,21 - 2,23 gr/cm³ para 7 días, 2,15 - 2,18 gr/cm³ para 14 días y 2,16 - 2,25 gr/cm³ para 28 días.

Grafica 6: Peso Vs Edad



Fuente: Propia

Grafica 7. Densidad Vs Edad



Fuente: Propia

A pesar de que a los 7 días de fraguado la diferencia de resistencia entre las 3 diferentes muestras fueron mínima, el modo de falla si fue bastante particular. Mientras que en la muestra patrón y en la muestra con tapas plásticas fueron fallas esperadas y menos perjudiciales para la ingeniería civil, la muestra con botellas PET mostro una falla en forma de cono y hendidura, despegándose de forma intacta la botella contenida dentro de los cilindros de concreto hidráulico que lo cubría, una grieta bastante dañina para la construcción.

✓ Con respecto a las 2 vigas

Se trató de establecer dos vigas con las dimensiones iguales, con un volumen de aproximado de 13496.25 cm^3 y usando un concreto hidráulico de 4000 psi, pero en la segunda muestra se trató de aligerar con 8 botellas plásticas PET compactadas y unidas de forma horizontal. Estas botellas mostraron un aligeramiento del 62,29% en su densidad con respecto a una viga convencional, pero también una disminución de su peso específico del 2.193 gr/cm^3 a

1.375gr/cm³, es decir un 62,7%. Esto nos dio como resultado que según la norma Invias 414 del 2007, la segunda muestra no cumpliera con los estándares mínimos según las dimensiones establecidas, la cual es de 2.8 Mpa por unidad y este mostro un total de 1.82 Mpa. Mientras que la primera muestra supero el límite aceptable con un total de 3.23 Mpa.

Se pudo establecer que probablemente sea viable no usar tantas botellas plásticas PET compactadas para aligerar la viga para que pueda alcanzar finalmente los requisitos de la norma y así ser más económica su construcción. Teniendo en cuenta que su capacidad de soporte se disminuyó en un 56%.

El fallo obtenido en las 2 vigas fue muy similar por lo que se concluyó que el contenido de las botellas PET no afecta el modo de falla, pero su separación. En la muestra patrón se alcanza la falla súbita, en la segunda muestra (con botellas PET) se muestra la falla frágil.

✓ Con respecto a las 2 placas

Aunque no fue posible establecer el peso exacto de las placas por falta de maquinaria adecuada en los laboratorios, se conoció a través de un promedio en los ensayos anteriormente fallados de vigas y cilindros, un aligeramiento de 16420 gramos aproximadamente a la muestra patrón y a su vez, una disminución de 83665,5 cm³ en su volumen.

La placa de concreto convencional alcanzó un total de 63,15 Kpa mientras que la otra placa con 56 botellas plásticas PET en su interior, alcanzó un total de 28,001 Kpa un poco menos de la mitad de la primera placa, lo cual no era lo esperado.

La falla en las losas mejoro considerablemente porque, aunque aparecieron las dos grietas en el mismo sentido, la placa patrón se separó de manera súbita mostrando una falla frágil esperada mientras que la otra placa, la placa con las botellas PET en su interior, mostro una falla dúctil porque nunca se separó en dos partes.

✓ Con respecto al espectro electromagnético

Mediante el microscopio electrónico de marca BUKER adquirido por la universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga y la muestra seleccionada, se pudo conocer más acerca la adherencia del concreto hidráulico con el tereftalato de polietileno. Se comprendió una muestra de concreto la cual estaba en contacto con una de las tapas plásticas sellando la botella PET al interior de uno de los cilindros; en los resultados de laboratorio mostro altos índices de silicio, calcio, carbono y oxígeno, lo cual era lo esperado porque son elementos químicos que componen el cemento pero también demostró un indicador alto de aluminio que nos daba a conocer partículas de plástico comprendidas con el concreto usado, es decir un mezcla de estos fundamentos químicos nos demuestra la adherencia adquirir. Cabe anotar que el microscopio alcanzado imagen hasta de 100.000 veces su tamaño real.

14. BIBLIOGRAFIA

✓ Trabajos de grado (5)

Ramírez, L (2011). Pavimentos con polímeros reciclados. (Trabajo de grado en pregrado ingeniería civil). Escuela de ingeniería de Antioquia, Colombia.

Miranda Rebolledo, R (2010). Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos. (Trabajo de grado para optar al título de ingeniero Constructor). Universidad Austral de Chile, Valdivia.

R. Ángela Roció, A. Nelson Darío. (2014). Desarrollo auto sostenible de la implementación de la construcción de la escuela “porvenir” con la utilización de material reciclable. (Trabajo de grado para optar al título de ingeniero civil). Universidad católica de Colombia, Colombia.

Metaute H. Diana Milena, Casas O. Daniel Mauricio (2009). Desarrollo de una mezcla asfáltica utilizando residuos plásticos. (Trabajo de grado para optar al título de ingeniero de procesos). Universidad de EAFIT, Colombia.

Rodriguez M. Carmen Elena, Rodriguez M, Jose Antonio (2004). Evaluacion y rehabilitación de pavimentos flexibles por el método del reciclaje (Trabajo de grado para optar al título de ingeniero civil). Universidad de el salvador, república de el salvador

✓ Revistas científicas (3)

Benavides, C. (28 de octubre del 2015). Impulsan construcción de carretera con plástico reciclable. Revista Construir América central y el caribe.

Carballo Gutiérrez, Emmanuel T. (2009). Futuro en los plásticos. *Ciencias* 96, octubre-diciembre, 62-69. [En línea]

International Journal of Scientific Research. (2014). Utilization of Plastic Waste in Construction of Roads. Engineering Vol 3, April. ISSN No 2277-8179. [En línea]

✓ Libros (5)

Padilla Rodríguez, Alejandro. (2004). Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista, España. Universidad politécnica de Cataluña, Barcelona.

Moll, Jeffry E. (November 21, 2012). The plastic road. United States Department of Agricultural, United States.

Instituto Nacional de Vías. (2013). Manual de Diseño geométrico de carreteras, Colombia

Montejo F. Alfonso (2002). Ingeniería de pavimentos 3° Edición Tomo I. Universidad Católica de Colombia, Colombia

N. Athanassios (2014). High Engineering Pavements, Materials and Control of Quality. Taylor & Francis Group.

✓ Base de datos, artículos PDF (10)

Cemex (2010). Pavimentos de concreto. [Archivo PDF]. Recuperado de <https://www.cemexmexico.com/Concretos/files/manualDePavimentos2010.pdf>

Journal of Current Chemical & Pharmaceutical Sciences. (2013). Economics and viability of plastic road. [PDF File]. Recuperado de https://www.mygov.in/sites/default/files/user_submission/16c4c059fb4718d59dc3af4266c66741.pdf

Journal of Current Chemical & Pharmaceutical Sciences. (March 2013). Study on use of plastic waste in road construction. [PDF File]. Recuperado de http://www.ijirset.com/upload/march/18_STUDY%20ON%20USE.pdf

Nitish M. Patil, V. G. Khurd. (2015). Utilization of Waste Plastic in Road Construction. [PDF File]. Recuperado de <http://www.ijies.org/attachments/File/v3i9/I0660083915.pdf>

Miss Aurva J Chavan. (2013). Use of plastic waste in flexible pavements. [PDF File]. Recuperado de <http://ijaiem.org/Volume2Issue4/IJAIEM-2013-04-29-095.pdf>

S. Vidula, J. Abhijeet, P. Karan, P. Suhas, S. Karan. (2012). Use of Waste PLastic in Construction of bituminous road Vol 4. [PDF File]. Recuperado de https://www.idc-online.com/technical_references/pdfs/civil_engineering/Use%20of%20waste%20plastic%20in%20construction%20of.pdf

[1] Instituto Nacional de Vías. 2008. Manual de diseño geométrico de Carreteras. República de Colombia

[2] Ramírez, L (2011). Pavimentos con polímeros reciclados. (Trabajo de grado en pregrado ingeniería civil). Escuela de ingeniería de Antioquia, Colombia.

[3] Rioseco, A (2015). Yo reciclo. Recupero de <http://yoreciclo.cl/tus-residuos/ecoladrillos/>

[4] Hernández, N (2014). Evaluación mecánica de ecoladrillos elaborados con residuos plásticos. (Trabajo de grado en pregrado ingeniería civil). Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, Colombia.

15.ANEXOS

ANEXO 1. Informe de muestra de microscopio electrónico.

ANEXO 2. Excel de los datos y resultados obtenidos.