

**IMPACTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO DEBIDO A
LA INCORPORACIÓN DE GEOTEXTIL EN SU MACROESTRUCTURA**



**Universidad
de Cartagena**

Fundada en 1827

SAMUEL EDUARDO BENAVIDES VÁSQUEZ

LUIS DAVID CAÑAVERAS BELEÑO

TESIS DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

CARTAGENA DE INDIAS, D. T y C.

2017

Impacto en las propiedades mecánicas del concreto debido a la incorporación de geotextil en su macroestructura

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del director
MODESTO BARRIOS FONTALVO

Firma del jurado
GUILLIAM BARBOSA M.

Firma del jurado
JOSÉ ESPAÑA M.

**IMPACTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO DEBIDO A
LA INCORPORACIÓN DE GEOTEXTIL EN SU MACROESTRUCTURA**

GRUPO DE INVESTIGACIÓN GEOMAVIT

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DIRECTOR DE PROYECTO

ING. MODESTO BARRIOS FONTALVO

SAMUEL EDUARDO BENAVIDES VÁSQUEZ

LUIS DAVID CAÑAVERAS BELEÑO

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

CARTAGENA DE INDIAS, D. T y C.

2017

Quiero agradecer a mi familia por entregarme su apoyo y cariño.

*A mis abuelos, tíos (as) y primos (as) por demostrarme la importancia de la fraternidad y
la unión.*

*A mis padres, por ser mis guías, guardianes y fieles escuderos durante toda vida, por los
cuales me empeño en ser mejor cada día.*

A mí Hermana por ser mi compañera y cómplice, la persona que más respeto en la vida

*A mis compañeros, con los cuales compartí principalmente este recorrido, forjando un
camino hacia una misma meta, pero con diferente fin, a los cuales les deseo lo mejor en el
camino que tomaran de ahora en adelante.*

*Y por último a los profesores que dedicaron cada clase, cada hora y cada espacio en
enseñarme lo que es y significa ser ingeniero civil*

Los quiero.

Samuel Eduardo Benavides Vásquez

Quiero darle las gracias a Dios por dejarme vivir esta magnífica experiencia, por permitir cumplir mis metas y sobre todo agradecer por tan buenos momentos.

A mi padre, Francisco Cañaveras por ser mi guía, ejemplo, guardián y escudero durante toda vida. A mi madre Denis Beleño por entregarme su amor incondicional, por tus sacrificios, por todo. Son mi razón de ser y por los cuales me empeño en ser mejor cada día.

A mí Hermana Sandra por ser mi consejera, amiga, compinche y sobre todo una inspiración. No podía faltar mi hermano Francisco la alegría del hogar, mi cómplice.

A mis demás familiares abuelos, tíos (as) y primos (as) por demostrarme la importancia de la fraternidad y la unión.

A mis compañeros, con los cuales compartí principalmente este recorrido, forjando un camino hacia una misma meta, pero con diferente fin, a los cuales les deseo lo mejor en el camino que tomaran de ahora en adelante.

Y por último a los profesores que dedicaron cada clase, cada hora y cada espacio en enseñarme lo que es y significa ser ingeniero civil

Los quiero.

Luis David Cañaveras Beleño

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar queremos agradecer a Dios por permitirnos culminar este proyecto de vida y ser una fortaleza en los momentos difíciles. También agradecer a nuestro director de Tesis Ing. Modesto Barrios Montalvo por su apoyo en este proyecto.

A nuestros compañeros de estudio y desde ahora colegas; Manuel Cardona, Alejandro Mouthon, Paola Castro, María Fernanda Muñoz, David Echeverría, Isamar Sierra y Jorge Pérez. Por ser más que simplemente compañeros de estudios, por compartir los buenos y los malos momentos. Por convertirnos en una hermosa familia que seguirá unida con el tiempo.

A todos los docentes y funcionarios del programa de Ingeniería Civil, por mostrarnos el camino de cómo ser grandes profesionales.

Y por último a nuestra segunda Casa, la Universidad de Cartagena por acogernos en esta etapa y formarnos en el ámbito profesional y humano.



CONTENIDO

| | |
|---|----|
| RESUMEN..... | 13 |
| ABSTRACT | 14 |
| INTRODUCCIÓN | 15 |
| 1. MARCO DE REFERENCIA | 18 |
| 1.1. ANTECEDENTES Y ESTADOS DEL ARTE..... | 18 |
| 1.2. MARCO TEÓRICO | 22 |
| 1.2.1. Concreto | 22 |
| 1.2.2. Concreto reforzado..... | 22 |
| 1.2.3. Propiedades del concreto..... | 23 |
| 1.2.4. Medida de la resistencia a la compresión..... | 27 |
| 1.2.5. Medida de resistencia a la flexión..... | 28 |
| 1.2.6. Correlación entre la resistencia a la compresión y flexión | 29 |
| 1.2.7. Geotextiles..... | 29 |
| 2. OBJETIVOS | 33 |
| 2.1. OBJETIVO GENERAL | 33 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 33 |
| 3. ALCANCE..... | 34 |
| 3.1. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL | 34 |
| 3.2. DELIMITACIÓN REFERENTE A RESULTADOS Y OTROS | 35 |
| 4. METODOLOGÍA | 37 |
| 4.1. VARIABLES..... | 37 |
| 4.1.1. Variables independientes | 37 |



| | |
|--|----|
| 4.1.2. Variables dependientes..... | 38 |
| 4.2. DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACIÓN | 39 |
| 4.3. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO..... | 41 |
| 4.4. PREPARACIÓN DEL GEOTEXTIL | 42 |
| 4.5. ELABORACIÓN Y CURADO DE LAS MUESTRAS (CILINDROS Y VIGUETAS) | 43 |
| 4.6. ENSAYOS MECÁNICO AL CONCRETO | 45 |
| 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS..... | 50 |
| 5.1. DISEÑO DE MEZCLA..... | 50 |
| 5.2. CONCRETO FRESCO | 51 |
| 5.3. CONCRETO ENDURECIDO | 55 |
| 5.3.1. Ensayo mecánico a la compresión | 58 |
| 5.3.2. Ensayo mecánico a la flexión..... | 61 |
| 5.4. EVALUACIÓN DE COSTOS | 64 |
| 6. CONCLUSIONES | 68 |
| RECOMENDACIONES | 71 |
| REFERENCIAS..... | 73 |
| ANEXOS | 78 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Incremento porcentual de la resistencia a compresión y flexión para distintos tipos de fibra | 20 |
| Tabla 2 Descripción de variables independientes | 38 |
| Tabla 3 Descripción de variables dependientes | 39 |
| Tabla 4 Matriz de muestras realizadas para los ensayos a compresión con geotextil tejido | 40 |
| Tabla 5 Matriz de muestras realizadas para los ensayos a compresión con geotextil no tejido..... | 40 |
| Tabla 6 Matriz de muestras realizadas para los ensayos a flexión con geotextil tejido | 41 |
| Tabla 7 Matriz de muestras realizadas para los ensayos a flexión con geotextil no tejido | 41 |
| Tabla 8 Formato para la organización de datos..... | 49 |
| Tabla 9 formato para resultados promedios | 49 |
| Tabla 10 Slump obtenido en (cm) para distintos porcentajes de geotextil..... | 52 |
| Tabla 11 Resultados obtenidos de la carga en (KN) para las distintas proporciones de geotextil..... | 58 |
| Tabla 12 Resultados obtenidos de la resistencia a la compresión en (kg/cm ²) para las distintas proporciones de geotextil..... | 58 |
| Tabla 13 Resultados promedios obtenidos de la resistencia a la compresión en (kg/cm ²) para las distintas proporciones de geotextil | 59 |
| Tabla 14 Variación de la resistencia a la compresión con respecto al blanco (0%) | 60 |
| Tabla 15 Resultados obtenidos de la carga en (KN) para las distintas proporciones de geotextil..... | 61 |
| Tabla 16 Resultados obtenidos de la resistencia a la flexión en (kg/cm ²) para las distintas proporciones de geotextil | 61 |
| Tabla 17 Resultados promedios obtenidos de la resistencia a la flexión en (kg/cm ²) para las distintas proporciones de geotextil..... | 62 |
| Tabla 18 Variación de la resistencia a la flexión con respecto al blanco (0%)..... | 63 |



LISTA DE ILUSTRACIONES

| | |
|---|----|
| Ilustración 1. Vista microscópica de algunos tipos de geotextiles tejidos..... | 31 |
| Ilustración 2. Vista microscópica de algunos tipos de geotextiles no tejidos..... | 32 |
| Ilustración 3. Cortes realizados al geotextil tejido T2400 | 42 |
| Ilustración 4. Cortes realizados al geotextil no tejido NT2500 | 43 |
| Ilustración 5. Colocación de mezcla en las viguetas | 44 |
| Ilustración 6. Curado final de las muestras a ensayar..... | 45 |
| Ilustración 7. Descripción del ensayo del cono de Abrams..... | 46 |
| Ilustración 8. Ensayo a compresión para un cilindro de estudio. | 47 |
| Ilustración 9. Ensayo a flexión a una vigueta de estudio. | 48 |
| Ilustración 10. Ensayo del cono de Abrams para un porcentaje de geotextil del 30% en su versión tejida | 54 |
| Ilustración 11. Aspecto físico de muestras de concreto para ensayos a compresión con una dosificación del 10% de geotextil NT2500..... | 55 |
| Ilustración 12. Aspecto físico de muestras de concreto para ensayos a flexión sin adición de fibras de geotextil..... | 56 |
| Ilustración 13. Aspecto físico de muestras de concreto para ensayos a compresión con una dosificación del 20% de geotextil T2400..... | 57 |
| Ilustración 14. Aspecto físico de muestras de concreto para ensayos a compresión con una dosificación del 30% de geotextil T2400..... | 57 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Grafico 1. Representación del slump para distintas proporciones de geotextil tejido T2400 vs la disminución de cada una estas con respecto al blanco (0%). | 53 |
| Grafico 2. Representación del slump para distintas proporciones de geotextil no tejido NT2500 vs la disminución de cada una estas con respecto al blanco (0%). | 53 |
| Grafico 3. Comparativa de los resultados de la resistencia a compresión según su edad y volumen agregado de geotextil. | 59 |
| Grafico 4. Comparativa de los resultados de la resistencia a flexión según el volumen agregado de geotextil. | 62 |

LISTA DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1 A.P.U. Para un concreto de 246 kg/cm ² | 65 |
| Cuadro 2 A.P.U. Para un concreto de 211 kg/cm ² con una incorporación 20% de geotextil tejido NT2500 | 66 |
| Cuadro 3 Para un concreto de 211 kg/cm ² con una incorporación 20% de geotextil tejido T2400 | 67 |

RESUMEN

En esta investigación se analizó el comportamiento mecánico del concreto al incorporar en su macroestructura geotextiles tejidos PAVCO T2400[®] y no tejidos PAVCO NT2500[®], con el fin de evaluar las variaciones en la resistencia a la compresión y flexión de las muestras.

Para ello se realizó un diseño de mezcla para obtener ciertas condiciones normales a las muestras realizadas. Luego se cortaron las fibras en tiras de longitud entre 4 y 5 cm. Posteriormente se prepararon las muestras de concreto con adiciones de fibras de 0%, 10%, 20% y 30% en volumen para cada tipo de geotextil, teniendo un global de 63 muestras a compresión y 21 a flexión.

Los ensayos que se realizaron fueron los de asentamiento del concreto, resistencia a la compresión y flexión, los cuales se llevaron a cabo con las normas NTC 396, 673 y 2871 respectivamente.

Los resultados indican que la incorporación de geotextil provoca una pérdida significativa en la manejabilidad del concreto reflejada en la disminución del asentamiento. En cuanto a la resistencia, solo la dosificación del 20% de fibras de geotextil no tejido aumentó la resistencia a la compresión, mientras que una incorporación del 10% del geotextil tejido aumento la resistencia a la flexión del concreto.

Desde el punto de vista económico, la implementación de fibras de geotextil no es viable si solo se tiene en cuenta la resistencia final a la compresión y flexión y no se recomienda para concretos con fin estructural. Sin embargo, sería una gran opción si se utiliza en otros campos, tales como pavimentos, especialmente concretos para placa-huella.

ABSTRACT

In this research the mechanical behavior of the concrete was analyzed by incorporating in its macrostructure geotextiles woven PAVCO T2400[®] and non-woven PAVCO NT2500[®], in order to evaluate the variations in the compressive and flexural strength of the samples.

For this was done a design of mixture to obtain certain normal conditions to the samples made. Then the fibres were cut in length strips between 4 and 5 cm. Later, the samples were prepared of concrete with additions of fibres of 0%, 10%, 20% and 30% in volume for each type of geotextile, having a global one of 63 samples to compression and 21 to flexion

The tests that were realized were the settlement of the concrete, resistance to flexion and compression, which were carried out according to the rules NTC 396, 673 and 2871 respectively.

The results indicate that the incorporation of geotextile causes a significant loss in the manageability of the concrete reflected in the decrease of the settlement. In terms of resistance, only the dosage of 20% of fibers of geotextile non-tissue increased the resistance to compression, while an incorporation of 10% of geotextile fabric increased the resistance to flexion of the concrete.

From the economic point of view, the implementation of geotextile fibers is not viable if only takes into account the end resistance to flexion and compression and is not recommended for concrete in order structural. However, it would be a great option if it is used in other fields such as pavement, especially concrete for plate-mark.

INTRODUCCIÓN

El concreto es el material producido por el hombre de mayor consumo a nivel mundial, pues este brinda muy buenas propiedades a nivel estructural, además de esto ofrece grandes condiciones como aislante térmico, se obtiene de manera asequible, es durable y versátil (WBSCD, 2012). Todas estas cualidades lo hacen el material de construcción por excelencia debido a que según datos de la Iniciativa para la Sostenibilidad de Cemento (CSI) se producen al año cerca de 11 mil millones de m³ de concreto en todo el mundo y su consumo sigue aumentando (Rodriguez Campos, 2011).

El concreto como material, ofrece diversas ventajas entre la cual se destaca la capacidad de resistir cargas externas que provocan en el esfuerzos de compresión. Sin embargo, el concreto no trabaja de igual manera cuando se somete a esfuerzos de flexión, por lo cual, este se ha tenido que reforzar para lograr suplir dichas carencias, en donde el acero ha jugado un papel fundamental (Harmsen, 2005). No obstante, el suplir estas carencias reduce la vida útil del concreto, debido a que el acero cuando se corroe disminuye la capacidad portante del concreto reforzado, reflejándose en este agrietamientos y estallamientos (Mc Cormac & Rusell, 2011).

Por lo anterior, se está abriendo una amplia gama de investigaciones para identificar nuevos materiales que iguallen o superen las cualidades que le ofrece el acero al concreto, con el fin de sustituir o disminuir el uso de este a la hora de reforzar el concreto, teniendo en cuenta que estos nuevos materiales no reaccionen químicamente con el concreto ni con el medio ambiente circundante.

Debido a esto, en los últimos años se ha explorado con materiales de origen sintético, pues se ha estudiado la influencia de la incorporación de fibras de polipropileno, nylon, poliéster, polietileno y entre otros al concreto. De las fibras anteriormente mencionadas, el polipropileno es el de mayor fabricación mundial abarcando un 92% del mercado (Koerner, 2005). De acuerdo a lo anterior, las investigaciones realizadas se han encaminado hacia la incorporación de este material y la influencia de estos en la resistencia del concreto.

Estos estudios reflejan que los resultados a la compresión si se comparan entre sí son inverosímiles, debido a que en algunos casos se reflejan un 0% de incremento a la compresión como precisa (Rodríguez Lozano & Segura Vicent, 2013). Sin embargo otros autores reflejan que estas incorporaciones si elevan esta característica hasta un 16% como asegura (Patel, Desai, & Desai, 2012). En cambio sí se evalúa a flexión se observa que hay una influencia positiva, pues se encontraron incrementos alrededor del 13% dados por (Afroughsabet & Ozbakkaloglu, 2015). Sin obviar datos de gran relevancia como el 36% de incremento obtenido por (Patel, et al., 2012).

Dada la experiencia ofrecida por estos autores acerca del uso de fibras de polipropileno en el concreto, se cuenta con un mínimo necesario para enmarcar este estudio y mostrar un nuevo enfoque de este. Por tanto en este proyecto se planteó utilizar otra presentación del polipropileno distinta a las fibras que se encuentran comúnmente en el mercado, la cual se deriva de la obtención de estas a través de un material base conocido como geotextil.

Esta idea surge, gracias a que los geotextiles se han vuelto cada vez más comunes, debido a que sus propiedades como material ofrece grandiosas alternativas de solución a problemas ingenieriles, pues su versatilidad brinda opciones en el control de erosión, refuerzo de suelos, filtraciones y separación entre capas de materiales (PAVCO, s.f).

De acuerdo con lo anterior, el siguiente proyecto buscó analizar el comportamiento mecánico del concreto al incorporar en su macroestructura geotextiles tejidos T2400 y no tejidos NT2500 de la marca PAVCO®, con el fin de evaluar las variaciones en la resistencia a la compresión y flexión.

Para ello se realizó un diseño de mezcla para obtener ciertas condiciones normales a las muestras realizadas. Posteriormente se prepararon las muestras de concreto con adiciones de fibras en distintas proporciones en volumen para cada tipo de geotextil. Los ensayos realizados fueron los de asentamiento del concreto, resistencia a la compresión y a la flexión, llevados a cabo de acuerdo a las normas NTC 396, 673 y 2871 respectivamente. El ensayo de asentamiento fue realizado en el campus de Piedra de Bolívar perteneciente a la

Universidad de Cartagena, mientras que los ensayos de compresión y flexión se efectuaron en los laboratorios de la firma PROASERCON LTDA, ubicada en el Barrio el Prado.

Esta investigación crea un punto de partida para futuras investigaciones que aborden el uso de los geotextiles en el concreto, así como la influencia de estos en características como la manejabilidad, generación de fisuras, durabilidad y la resistencia que le puede ofrecer al hormigón. De esta manera se promueve el estudio de materiales que anteriormente no se tenían en cuenta en algunos campos de aplicación, pero gracias a sus propiedades podrían utilizarse en nuevas áreas de la construcción. Por tanto este constituye un valioso aporte al espíritu investigativo que forja el alma mater a través de su grupo de investigación GEOMAVIT en su línea de investigación de materiales para la construcción, perteneciente a al programa de Ingeniería Civil.

1. MARCO DE REFERENCIA

Este capítulo se divide en dos apartados, en el primero se expondrán las investigaciones realizadas sobre el uso de fibras en la macroestructura del concreto, haciendo énfasis en estudios donde se utilizaron fibras de tipo sintético (*polipropileno*), con el fin de mostrar una referencia clara acerca de los antecedentes internacionales, nacionales y locales en los cuales se enmarca dicha investigación. En el segundo apartado se expondrán aquellas teorías esenciales en las cuales se basa este proyecto.

1.1. ANTECEDENTES Y ESTADOS DEL ARTE

Comúnmente para mejorar las propiedades mecánicas del concreto (resistencia a la compresión y flexión), se tiende a adicionar materiales capaces de mejorar dichas propiedades, debido a esto se han llevado a cabo diversas investigaciones sobre el uso de algunos tipos de fibras como material para incorporar a la macroestructura del concreto.

Las fibras que se le adicionan al hormigón puede provenir de distintos orígenes, debido a que estas pueden ser naturales como las provenientes del (amianto o asbesto, celulosa vegetal, carbón) y artificiales las cuales las podemos englobar en dos grupos. La primera son las inorgánicas como las fibras de carbono, vidrio y metal y en segundo lugar las orgánicas constituidas principalmente por polímeros como el polipropileno, el poliéster, polietileno, entre otros (GRUPPO INDUSTRIALE MACCAFERRI, 2007).

Basados en esta clasificación, diferentes autores se dedicaron a estudiar la manera en que afecta cada tipo de fibra al concreto. Uno de estos estudios contemplo el estudio de fibras como las de polipropileno, acero, vidrio y carbono. Para ello realizó una compilación de información acerca de estas fibras describiendo el modo en que estas se emplean, datos técnicos de importancia, sus aplicaciones, así como sus ventajas y desventajas de cada tipo de fibra. De este trabajo se rescata la información aportada acerca las fibras de polipropileno, donde se establece que estas fibras se podrán usar como refuerzo secundario bajo un mínimo

de 0,1% de volumen de fibra. Además de esto, se refiere al polipropileno como material inerte lo que hace que este trabajo de buena manera bajo ambientes agresivos como lo son los concretos expuestos al mar (Irías Pineda, 2013).

Sin embargo, el uso de fibras sintéticas como las de polipropileno puede cambiar en su dosificación, empleando volúmenes de fibra comprendidos entre el 1% y 2%, obedeciendo a diversos factores como la reducción de grietas por contracción donde se emplean volúmenes menores del 1%. A si mismo las dosificaciones entre el 1% y el 2% se emplean para aumentar el módulo de rotura, la tenacidad a la fractura y la resistencia al impacto. Mientras que utilizar una proporción mayor del 2% conduce a endurecimiento por deformación de los materiales compuestos (MEKA, 2016).

Si bien mayoritariamente se manejan dosificaciones hasta un 2,5% se encuentran casos donde se emplean proporciones del 8% en volumen de fibras de polipropileno como lo refleja (Lievano & Gutierrez Torres, 2011)

Otros estudios han experimentado con distintos tipos de fibra, tanto de manera individual como conjunta. En ellos se evidencian los ensayos realizados a compresión y flexión con el fin de comparar una muestra patrón con muestras de distintas proporciones de fibra y así determinar si estas en realidad ofrecen un margen de incremento. La **Tabla 1** muestra la información recolectada en los diversos estudios, en ella se anotó el material de la fibra usada, su denominación comercial y el incremento en puntos porcentuales (%). Cabe resaltar que este incremento se tomó para la proporción de fibra que los autores denominaron como la más óptima y que los distintos estudios sobre fibra del mismo material no necesariamente están regidas bajo la misma proporción.

Tabla 1 Incremento porcentual de la resistencia a compresión y flexión para distintos tipos de fibra

| <i>Material</i> | <i>Denominación de la fibra</i> | <i>Incremento en (%)</i> | | <i>Referencias</i> |
|----------------------|---------------------------------|--------------------------|---------|---|
| | | Compresión | Flexión | |
| Metal | ZP-306 | 0 | NR | Gallo Arciniegas, González Peñuela, & Carrillo León, 2013 |
| | SFRC 1 | 0 | 11,6 | Meza, et al., 2014 |
| | DRAMIX | 0 | NR | Rodríguez Lozano & Segura Vicent, 2013 |
| | NE | 24,2 | 43,3 | Mahadik, Kamane, & Lande, 2014 |
| | Steel wire | 18 | NR | Vairagade & Kene, 2013 |
| Nylon | NE | 18,42 | 5,34 | López Cruz, 2014 |
| Vidrio | NE | 0 | NR | Rodríguez Lozano & Segura Vicent, 2013 |
| Polipropileno | NE | 0 | 12 | Mendoza, Aire, & Dávila, 2011 |
| | NE | 16 | 36 | Patel, Desai, & Desai, 2012 |
| | ENDURO 600 | 0 | NR | Rodríguez Lozano & Segura Vicent, 2013 |
| | Bajaj Plast | 16,8 | NR | Vairagade & Kene, 2013 |
| | NE | 5,8 | 1,5 | Song, Hwang, & Sheu, 2005 |
| | NE | 13 | 13 | Afroughsabet & Ozbakkaloglu, 2015 |

Nota: Los términos NE y NR significan no especificado y no realizado respectivamente.

En Colombia el estudio realizado acerca de la adición de fibras de polipropileno a la mezcla de concreto, se ha enmarcado principalmente en utilizarlas para pavimentos, con el objetivo de estimar la resistencia mecánica de este y las bondades que puede ofrecer este material a la mezcla de concreto para pavimentos. Como resultado de esto se obtuvo que el mayor beneficio costo se obtiene con las fibras de polipropileno con un ahorro de 1/5 del costo del concreto sin adición de fibras para el modelo de fatiga PCA, con un tráfico bajo y un suelo regular o bueno (50-120 MPa) como afirma (Boada Marcano & Pérez Niel, 2011).

En el ámbito local no se encontraron estudios relacionados sobre la incorporación de fibras de polipropileno al concreto y su influencia sobre este.

Dada la experiencia ofrecida por otros autores acerca del uso de fibras de polipropileno en el concreto, se tiene un mínimo necesario para enmarcar esta investigación y mostrar un nuevo enfoque de investigación, debido a que en este proyecto se plantea utilizar otra versión del polipropileno que no sean las fibras como tal, sino los geotextiles, siendo los estudios de la influencia de este en la resistencia del concreto pocos o nulos.



1.2.MARCO TEÓRICO

Para realización del presente proyecto es de vital importancia conocer los lineamientos, estudios y teorías ligadas al concreto como material de construcción y todo lo que tiene que ver con el refuerzo de este, por lo tanto se ha recopilado la información que se cree relevante de dicho tema, la cual se muestra a continuación.

1.2.1. Concreto

El principal concepto a conocer y analizar sería del concreto, de este tenemos que es un material semejante a la piedra que se obtiene mediante una mezcla cuidadosamente proporcionada de cemento, arena, grava u otro agregado, y agua; después, esta mezcla se endurece en formaletas con la forma y dimensiones deseadas. El cuerpo del material consiste en agregado fino y grueso. El cemento y el agua interactúan químicamente para unir las partículas de agregado y conformar una masa sólida (Nilson & Darwin, 2001). Podemos decir de lo anteriormente descrito que el concreto en sí es un material de alta resistencia, ya que, al ser semejante a la piedra es capaz de resistir cargas externas que provoquen esfuerzos de compresión y tensión en su macroestructura, que con llevarían a que este se fracturara o rompiera. Se pueden obtener concretos en un amplio rango de propiedades ajustando apropiadamente las proporciones de los materiales constitutivos. Un rango aún más amplio de propiedades puede obtenerse mediante la utilización de cementos especiales (cementos de alta resistencia inicial), agregados especiales (los diversos agregados ligeros o pesados), aditivos (plastificantes y agentes incorporadores de aire, microsílíceo cenizas volantes) y mediante métodos especiales de curado (curado al vapor) (Nilson & Darwin, 2001).

1.2.2. Concreto reforzado

Como se menciona es posible obtener concretos de mayor resistencia, esto con el fin de construir estructuras de mayor envergadura, mayor importancia o que estas demanden o trabajen con grandes fuerzas, tales como edificios, presas, puentes, entre otros. Para esto se refuerza el concreto, lo cual consiste en incorporar un material diferente a este, que sea capaz de suplir al concreto en lo que este no es capaz de hacer o resistir. Con la incorporación



de un nuevo material se busca mejorar propiedades como la tensión (flexión), compresión y la torsión, siendo la de tracción la propiedad más crítica del concreto puesto que es muy baja en comparación a la de compresión, siendo esta última la mejor propiedad del concreto, motivo por el cual este sea utilizado en construcciones. Para contrarrestar esta limitación, en la segunda mitad del siglo XIX se consideró factible utilizar acero para reforzar el concreto debido a su alta resistencia a la tensión, principalmente en aquellos sitios donde la baja resistencia a la tensión del concreto limitaría la capacidad portante del elemento. El refuerzo, conformado usualmente por barras circulares de acero con deformaciones superficiales apropiadas para proporcionar adherencia, se coloca en las formaletas antes de vaciar el concreto. Una vez las barras estén completamente rodeadas por la masa de concreto endurecido, comienzan a formar parte integral del elemento. La combinación resultante de los dos materiales, conocida como concreto reforzado, combina muchas de las ventajas de cada uno (Nilson & Darwin, 2001).

1.2.3. Propiedades del concreto

Como se sabe el concreto se encuentra en dos estados, los cuales son el fresco y el endurecido, por lo tanto, es de vital importancia conocer las características que este muestra cuando está en alguna de estas dos fases, aclarando que se definirán las relevantes para este proyecto.

1.2.3.1. Propiedades en estado fresco

- **Consistencia:** En términos generales la consistencia se refiere a su estado de fluidez, es decir, que tan dura (seca) o blanda (fluida) es una mezcla de concreto cuando se encuentra en estado plástico (Sanchez De Guzman, 2001). Entonces se puede decir que esta está influenciada directamente por el agua de mezclado del concreto, la cual se refiere a la cantidad necesaria para darle manejabilidad al concreto, La consistencia en el concreto está relacionada con el concepto de la plasticidad. Otros autores definen la consistencia como la humedad de la mezcla de concreto.



- **Manejabilidad:** La manejabilidad conocida también como trabajabilidad, se considera como aquella propiedad del concreto mediante la cual se determina su capacidad para ser transportado, colocado, moldeado y vibrado adecuadamente (Sanchez De Guzman, 2001). Físicamente se define como el trabajo necesario para vencer la fricción entre las partículas individuales del concreto y también la del concreto con la formaleta y el tipo de refuerzo que se incorpore. Como factores que afectan la manejabilidad cabe mencionar:
 - Contenido de agua de mezclado.
 - Tipo de cemento y sus propiedades.
 - Fluidez de la pasta.
 - Granulometría de los agregados.
 - Forma y textura de las partículas.
 - Relación arena-grava.
 - Contenido de aire.

- **Plasticidad:** Por último, se denomina plasticidad a una consistencia del concreto tal que pueda ser fácilmente moldeado, pero que le permita al concreto fresco cambiar de forma lentamente si se saca del molde. Por tal razón, no pueden considerarse como mezclas de consistencia plástica ni las muy secas ni las muy fluidas. Para aclarar un poco estos dos conceptos, debe tenerse en cuenta que dentro de ciertos límites, las mezclas húmedas son más manejables que las mezclas secas pero dos mezclas que tengan la misma consistencia no son igualmente manejables. Para que eso sea así deben tener el mismo grado de plasticidad (Sanchez De Guzman, 2001).



1.2.3.2. Propiedades en estado endurecido

El hormigón endurecido como material final obtenido, ofrece diversas propiedades de gran importancia que se adquieren después de un elaborado diseño, estas deben cumplir con un mínimo exigido según las necesidades que la construcción requiera. Algunas de estas propiedades son la resistencia, extensibilidad, elasticidad y durabilidad.

Sin embargo, de las anteriores propiedades mencionadas acerca del concreto, la resistencia ha sido la más ampliamente estudiada puesto que este es el material constructivo más utilizado para elaborar elementos estructurales. Debido a esto los concretos son diseñados para que adquieran cierta capacidad resistencia.

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica más importante de un concreto y se utiliza normalmente para juzgar su calidad. Sin embargo cuando se diseñan pavimentos rígidos y otras losas que se construyen sobre el terreno, el concreto se diseña para que resista esfuerzos de flexión (Gutiérrez de López, 2003).

Existen diversos factores que afectan la resistencia y se pueden agrupar de dos maneras. La primera tiene que ver con la calidad y cantidad de elementos constitutivos del concreto: agregados, cemento y agua y la segunda con la calidad del proceso en la fabricación del concreto: mezclado, transporte, colocación, compactación y curado (Gutiérrez de López, 2003).

- ***Relación agua-cemento:*** En términos generales, la resistencia del concreto se determina por la cantidad neta de agua utilizada por cantidad unitaria de cemento, para un conjunto dado de materiales y de condiciones. Esto es lo que se conoce hoy en día como la relación "agua-cemento", la cual está dada en peso. La resistencia de un concreto completamente compactado, a una edad dada, es inversa mente proporcional a la relación agua – cemento (la cual originalmente se expresaba en volumen). Para cuantificar esto, Abrams propuso la siguiente expresión de tipo exponencial:



$$\bar{R} = \frac{A}{B^\alpha} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde, R es la resistencia media a la compresión en kg/cm^2 . A y B son constantes empíricas que dependen de la calidad y tipo de cemento, las propiedades de los agregados, los aditivos, y las condiciones de ensayo. α es la relación agua-cemento en peso (Sanchez De Guzman, 2001).

- **Contenido del cemento:** las características del cemento empleado en la mezcla de concreto tiene una gran incidencia en la resistencia del concreto, pues es el elemento más activo de la mezcla. Aunque todos los cementos tienen una buena calidad el incremento de la resistencia con la edad no es el mismo, algunos cementos aumentan su resistencia más rápidamente a edades tempranas. La cantidad de cemento en la mezcla, es decir su proporción, es decisiva en la resistencia, a medida que se aumenta la cantidad de cementos aumenta la resistencia, sin embargo mezclas en un alto contenido de cemento (por encima de 470 kg por m^3 de concreto) tienen un retroceso en su resistencia especialmente cuando tienen tamaños máximos muy grandes (Gutiérrez de López, 2003).
- **Influencia de los agregados:** La calidad de los agregados es un factor determinante de la resistencia del concreto, las propiedades de los agregados que más influyen en ella son: el tamaño máximo del agregado grueso, la granulometría puesto que materiales bien gradados producen una mayor densidad, La forma y la textura de los agregados que especialmente inciden en la resistencia a la flexión y la resistencia y rigidez de las partículas del agregado (Gutiérrez de López, 2003).



1.2.4. Medida de la resistencia a la compresión

Esta es la característica principal del concreto, la forma de expresarla es en términos de esfuerzo, generalmente en Kg/cm², con alguna frecuencia es dada en libras por pulgada cuadrada (psi.). La equivalencia que hay entre los dos, es que 1 psi es igual a 0.07 Kg/cm². Aunque hoy en día se ha acogido expresarla en Mega-Pascales (MPa), de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (Sanchez De Guzman, 2001).

Normalmente las edades para controlar la Resistencia de los Concretos son:

7 Días \Rightarrow 80% de la Resistencia Especificada.

14 Días \Rightarrow 90% de la Resistencia Especificada.

28 Días \Rightarrow 100% de la Resistencia Especificada.

La forma de evaluar esta resistencia es mediante una prueba mecánica de compresión que consiste en aplicar una carga de compresión axial a cilindros moldeados a una taza predeterminada hasta que la falla ocurre. Esta prueba está contemplada en la norma ASTM C 39. La fuerza compresiva del espécimen es calculada al dividir la carga máxima lograda durante la prueba entre el área calculada del espécimen (Norma ASTM C 39, s.f).

Por lo cual la resistencia a la compresión se calcula de la siguiente forma:

$$R = \frac{P}{A} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

- ✓ R es el esfuerzo a la compresión del espécimen medido en (Mpa).
- ✓ P es la carga máxima aplicada al espécimen en (Kn).
- ✓ A es el área de la cara axial del espécimen en (mm²).



1.2.5. Medida de resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión también llamada módulo de rotura para un concreto de peso normal se aproxima a menudo de 1.99 a 2.65 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión.

Es de gran aplicación en los proyectos de losas para carreteras y pistas de aeropuertos. La resistencia a la flexión del concreto se determina en vigas prismáticas de 15 x 15 de sección y 50 cm de largo (Gutiérrez de López, 2003).

Este valor es medido dependiendo del lugar donde ocurra la falla, basándose en el método de viga simple con carga en los tercios del claro, estos valores se calculan de la siguiente manera (ASTM C 78, s.f):

Si la fractura se presenta en el tercio medio del claro el módulo de ruptura se calcula como sigue:

$$MR = \frac{PL}{bd^2} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Si la ruptura se presenta fuera del tercio medio del claro, en no más del 5% de la longitud, se calcula el módulo de ruptura como sigue:

$$MR = \frac{3Pa}{bd^2} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Si se sigue por la metodología de la carga en el centro de la luz se obtiene el módulo de rotura de la siguiente manera (ASTM C 293, s.f):

$$MR = \frac{3PL}{2bd^2} \quad \text{Ecuación (5)}$$

Dónde:

- ✓ MR es el módulo de ruptura, en (kgf/cm²).
- ✓ P es la carga máxima aplicada, en N (kgf).
- ✓ L es la distancia entre apoyos, en cm.



- ✓ b es el ancho promedio del espécimen, en cm.
- ✓ d es al peralte promedio del espécimen, en cm.
- ✓ a es la distancia entre la línea de rotura y el apoyo más próximo, medida a lo largo del eje longitudinal de la cara inferior de la viga en cm.

1.2.6. Correlación entre la resistencia a la compresión y flexión

A medida que aumenta la resistencia a la compresión del concreto también aumenta su resistencia a la flexión, sin embargo la relación no es lineal sino parabólica. El módulo de rotura presenta valores entre el 10 y 20% de la resistencia a la compresión. Una relación aproximada es la siguiente (Gutiérrez de López, 2003):

$$MR = K \sqrt{f'_c} \quad \text{Ecuación (6)}$$

Dónde:

- ✓ MR es el módulo de ruptura, en (kgf/cm²).
- ✓ f'_c es la resistencia a la compresión en (kgf/cm²).
- ✓ K un factor que está entre 2,0 y 2,7. El A.C.I recomienda 2,0.

1.2.7. Geotextiles

El geotextil es un material textil compuesto por materiales sintéticos o naturales de característica permeable y lisa, además ofrece una buena resistencia a la tensión y punzonamiento, así como una sobresaliente capacidad hidráulica (PAVCO, 2012).

Las fibras más usadas a nivel mundial para fabricar geotextiles son el polipropileno (PP) con un 92%, el poliéster (PETP) con un 5%, el polietileno (PE) con un 2% y la poliamida (PA) también denominada nylon con un 1% (Koerner, 2005).



Las fibras de geotextiles pueden ser monofilamentos, multifilamentos o cintas; estas últimas pueden ser, a su vez, planas, retorcidas o fibriladas. La combinación de materias primas, la configuración de las fibras y la técnicas de enlazado o tejido y técnicas de tricotado, das a lugar muchos tipos de geotextiles se diferencia entre si debido a su apariencia y sus propiedades físicas, hidráulicas y mecánicas (Casas Flores, 2014).

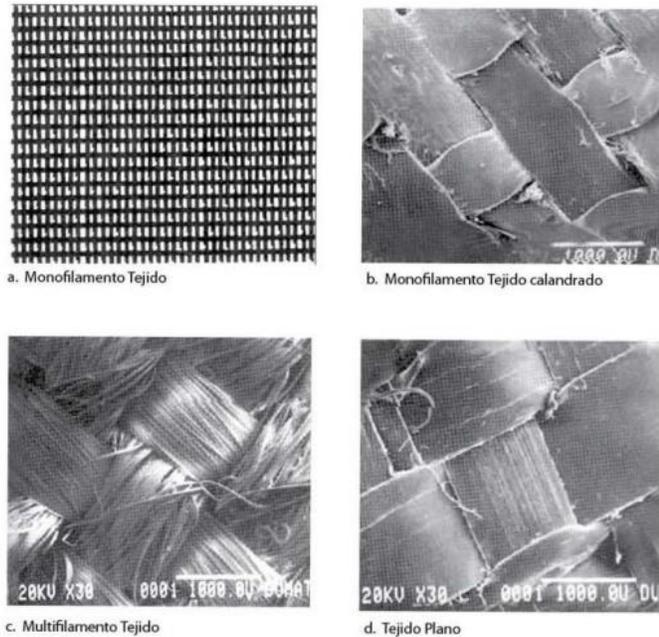
Los geotextiles se pueden agrupar en dos grupos que son los tejidos y los no tejidos, cada uno de estos son especialmente fabricado y con propiedades específicas que se adaptan de acuerdo a las necesidades que se presente.

1.2.7.1. Geotextiles tejidos

Son aquellos formados por cintas de alta resistencia. Están conformados mediante cintas en sentido de urdimbre (sentido longitudinal) y de trama (sentido transversal) como se puede apreciar en la **Ilustración 1**. Es el tejido más simple y eficiente, el cual da como resultado una estructura plana. Su resistencia a la tracción es de tipo biaxial es decir en ambos sentidos de fabricación. Gracias a su estructura y las características de las cintas empleadas, son reconocidos por tener altas resistencias y bajas deformaciones; su aplicación está orientada al refuerzo de vías, muros, terraplenes y cimentaciones (PAVCO, s.f).

Entre sus principales funciones se encuentran las de separación, refuerzo y estabilización de suelos.

Ilustración 1 Vista microscópica de algunos tipos de geotextiles tejidos



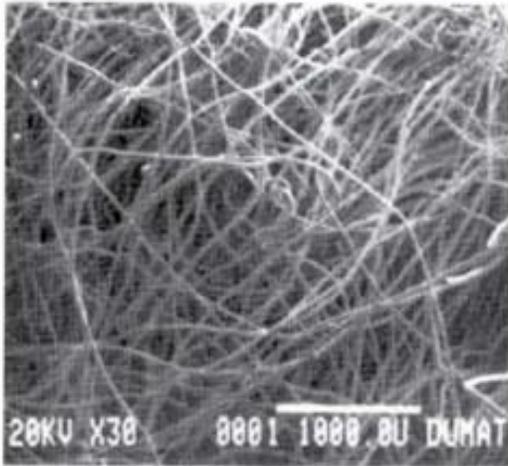
Fuente: PAVCO. (2012). Manual de diseño con geosinteticos. Ilustración. Recuperado el 5 de Octubre de 2016, de <http://www.geosoftpavco.com/manualvirtual/document.pdf>

1.2.7.2. Geotextiles no tejidos

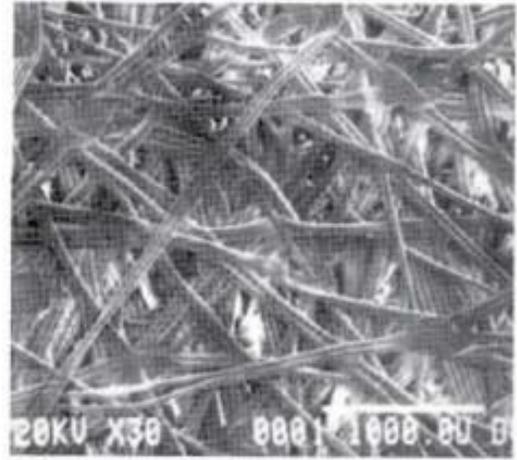
Se forman a partir de un entrelazado de fibras mezcladas aleatoriamente como se puede apreciar en la **Ilustración 2**, conformando una capa con altas propiedades de filtración y drenaje. Estos tienen buenas características mecánicas e hidráulicas, gran elongación ya que pueden estirarse desde un 40% hasta un 120% o más, antes de entrar en carga de falla lo que les proporciona muy buena adaptabilidad a las irregularidades del terreno, además de ofrecer buenas propiedades para protección, así como buenas funciones de filtración y separación (PAVCO, s.f).

Este tipo de geotextiles se usan principalmente para drenajes, protección, filtración, separación, estabilización y repavimentación.

Ilustración 2 Vista microscópica de algunos tipos de geotextiles no tejidos



e. No Tejido punzonado por agujas



f. No Tejido unido por calor

Fuente: PAVCO. (2012). Manual de diseño con geosintéticos. Ilustración. Recuperado el 5 de Octubre de 2016, de <http://www.geosoftpavco.com/manualvirtual/document.pdf>



2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar el comportamiento mecánico del concreto al incorporar en su macroestructura geotextiles tejidos PAVCO T2400[®] y no tejidos PAVCO NT2500[®], por medio de ensayos de laboratorio descritos por la Norma Técnica Colombiana (NTC), con el fin de evaluar las variaciones en la resistencia a la compresión y flexión de las muestras.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el comportamiento en estado fresco de la mezcla de concreto con geotextiles tejidos T2400 y no tejidos T2500 de PAVCO[®] mediante la norma técnico colombiana NTC 396.
- Realizar los ensayos destructivos a los especímenes implementando la norma técnico colombiana NTC 673 y NTC 2871, con el fin de determinar la cantidad de geotextil tejido y no tejido que optimiza la resistencia a la compresión y flexión de las muestras.
- Analizar el costo-beneficio de la incorporación al concreto de geotextiles tejidos T2400 y no tejidos NT2500 de PAVCO[®] en comparación con un hormigón simple en igual grado de resistencia.



3. ALCANCE

El proyecto se llevó a cabo durante el primer periodo académico del año 2017 propuesto por la Universidad de Cartagena.

Para efectuar la investigación y cumplir los objetivos se realizaron ciertos ensayos, uno de estos fue el ensayo de asentamiento propuesto por la NTC 396 para los distintos tipos de mezclas planteadas, dichos ensayos se realizaron en las instalaciones de la Universidad de Cartagena en el Campus Piedra de Bolívar, ubicada en la Ciudad de Cartagena de Indias (Colombia) con coordenadas geográficas 10°24'06.3"N, 75°30'19.6"W y a una altura de 35 metros con respecto al nivel del mar. Del mismo modo las muestras de cilindros y viguetas se elaboraron en el plantel universitario como lo estipulan las normas NTC 673 y NTC 2871.

Debido a que la Universidad de Cartagena no cuenta con los equipos necesarios para determinar la resistencia a la compresión y a flexión, estas se transportaron hasta los laboratorios de la firma PROASERCON LTDA, ubicada en el Barrio el Prado, Urb. Los Tamarindos Cra 35 # 25-75.

3.1. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL

Este proyecto tiene como objetivo general obtener las variaciones mecánicas que genera la incorporación de geotextil tejido PAVCO® T2400 y no tejido PAVCO® NT2500 en la macroestructura del concreto, para ello se efectuaron ensayos de tipo destructivos a las muestras realizadas como se evidencia en la metodología.

Además de eso, se buscó la proporción más óptima en volumen de geotextil tejido PAVCO® T2400 y no tejido PAVCO® NT2500, para ello se debe aclarar que las proporciones a manejar, serán las propuestas por los ejecutores del proyecto y su asesor, pues, no sería conveniente utilizar las proporciones planteadas en investigaciones pasadas, ya que, en estas utilizaron proporciones entre el 1% y 3% las cuales no reflejaron un aumento significativo



en las propiedades mecánicas del concreto en la mayoría de los casos, teniendo en cuenta que el material a usar en esta investigación no cuenta con las mismas propiedades que presenta las fibras utilizadas como aditivos al concreto. Por tal motivo, se hace necesario el uso de un mayor volumen de este y de esta manera probar si la adición de fibras de geotextil afecta de manera positiva la resistencia a la compresión y flexión del concreto. Por otro lado también se condicionó la utilización de geotextil, pues, era necesario limitar las proporciones de dicho material por cuestiones de disponibilidad de recursos. Lo anterior será basado en las normas técnicas colombianas NTC 396, 673 y 2871.

Concretamente, se pretendió encontrar la variación en cuanto a la resistencia a la compresión del concreto utilizando la NTC 673, la resistencia a la tracción con la ayuda de la NTC 2871 y el asentamiento del concreto en estado fresco utilizando la NTC 396, estas muestras se compararon con muestras sin ningún tipo de reforzamiento ni incorporación, aclarando que dichas muestras fueron elaboradas por los autores, por lo tanto, no se efectuó comparaciones con otros estudios debido a que estos solo se tomaron como orientación.

Esta incorporación se realizó moliendo el geotextil, tomando como base un rango en cuanto al tamaño, el cual está especificada en la metodología. Por último se realizó una valoración costos, donde se comparó el concreto reforzado con geotextil tejido PAVCO® T2400 y no tejido PAVCO® NT2500 con uno de la misma resistencia sin ser reforzado.

3.2. DELIMITACIÓN REFERENTE A RESULTADOS Y OTROS

Las variaciones mecánicas del concreto con la incorporación de geotextil se manejaron de forma porcentual, tomando como base los resultados de los ensayos al concreto simple, ya sea esta variación negativa o positiva, aclarando que fueron para todos los estudios que se hicieron, como lo son asentamiento del concreto, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.

Como resultados finales se presentaron tablas y gráficos donde se compararon las diferentes dosificaciones de geotextil tejido PAVCO® T2400 y no tejido PAVCO® NT2500 al concreto,



así como una valoración de los resultados de manera individual. Después de esto, se realizó de la misma forma comparaciones entre los resultados arrojados por la serie de tejidos y no tejidos, además de esto se elaboró un cuadro comparativo donde se confrontaran el costo de elaboración de un concreto reforzado con geotextil tejido PAVCO® T2400 y no tejido PAVCO® NT2500, con uno de la misma resistencia sin ser reforzado.

Por otro lado se pretendió que los resultados obtenidos sean una base a nuevas investigaciones, puesto que, este campo de la ingeniería demanda el hallazgo de nuevas alternativas de uso de los materiales, para así encontrar soluciones a las demandas que generan el diseño y ejecución de una obra ingenieril.



4. METODOLOGÍA

Para desarrollar la siguiente investigación, se necesitó un estudio de tipo correlacional, donde se mostró el comportamiento que tuvo el concreto cuando se le incorporo geotextil molido en sus versiones tejida y no tejida, para ello se recolecto información basándose en estudios experimentales que describieron los cambios que presento el concreto cuando se le adicione a su macroestructura otro tipo de material.

La información recolectada de primera mano se basó en los estudios experimentales que se le realizo al concreto tanto en estado fresco y endurecido, tales como los ensayos de asentamiento o slump para el concreto en estado fresco y los de resistencia a la compresión y flexión para el concreto endurecido, esto, apoyado en la metodología proporcionada por las normas técnicas colombianas. Además, también hizo parte de este grupo, la información que se adquirió en el diseño de mezcla y el análisis de precios unitarios. Todo lo anterior con el fin de llevar a cabo los objetivos planteados.

Para poder comparar los resultados obtenidos sobre las muestras recolectadas, se desarrolló modelos cuantitativos que describían los cambios mecánicos como la compresión, flexión y asentamiento que presenta el concreto cuando se le incorporo geotextil molido. Además de esto se realizó un análisis de precios unitarios a la muestra de mayor resistencia a la compresión y flexión del grupo de muestras tratadas.

4.1.VARIABLES

4.1.1. Variables independientes

Como variables independientes se definieron los porcentajes de geotextil tejido PAVCO® T2400 y no tejido PAVCO® NT2500 que se molió e incorporo, además del periodo de tiempo en el cual se realizaron las pruebas de compresión y flexión. En cuanto al porcentaje de



geotextil incorporado, se manejó de 0%, 10%, 20% y 30%, estas se realizaron en relación al volumen de cada muestra, los periodos de tiempo que se utilizó son los indicados en la NTC 673 y NTC 2871, Los cuales serán de 7, 14 y 28 días para los ensayos a compresión y 28 días para los de flexión. Estas variables están resumidas en la **Tabla 2**.

Tabla 2 Descripción de variables independientes

| VARIABLE | DEFINICIÓN | INDICADOR | NOMENCLATURA |
|-----------------------------|--|------------------|---------------------|
| Periodo de tiempo | Tiempo en el cual se realizarán ensayos de resistencia | Días | Días |
| Incorporación en porcentaje | Cantidad de geotextil a mezclar en el concreto | Volumen | m ³ |

4.1.2. Variables dependientes

Las variables dependientes se definieron como la resistencia a la compresión, flexión y el asentamiento presentado por el concreto cuando se le incorporo geotextil en los porcentajes indicados anteriormente y los días en los cuales se realizó tal medición, estas variables se describen con mayor detalle en la **Tabla 3**.



Tabla 3 Descripción de variables dependientes

| VARIABLE | DEFINICIÓN | INDICADOR | NOMENCLATURA |
|-----------------------------|---|---|--------------------------|
| asentamiento del concreto | Capacidad de adaptación del concreto al encofrado | Metros | <i>m</i> |
| Resistencia a la compresión | El esfuerzo máximo que presenta el concreto bajo cargas axiales que produzca un deformación | Esfuerzo en Kilogramo por centímetro cuadrado | <i>Kg/cm²</i> |
| Resistencia a la flexión | El esfuerzo máximo que presenta el concreto bajo cargas transversales que produzca un deformación | | |

4.2. DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño experimental del proyecto fue multifactorial, ya que se tienen varias variables independientes tales como tiempo, porcentaje de incorporación de geotextil y por supuesto el tipo de geotextil incorporado, ya sea este tejido o no tejido. Los cuales definieron el total de muestras a trabajar y analizar.

Para el análisis de la resistencia a la compresión se tuvo como variables el tiempo, porcentaje de geotextil y tipo de geotextil, como se dijo anteriormente se realizaron ensayos a los 7, 14 y 28 días, con cuatro tipos de incorporaciones, incluida la de 0%, para los dos tipos de geotextiles, lo anterior se muestra en la **Tabla 4** y **Tabla 5**:



Tabla 4 Matriz de muestras realizadas para los ensayos a compresión con geotextil tejido

| PORCENTAJE DE GEOTEXTIL TEJIDO (%) | EDAD DE ESPECÍMENES | | |
|--|----------------------------------|----|----|
| | 7 | 14 | 28 |
| | NUMERO DE ESPECÍMENES A ANALIZAR | | |
| 0 | 3 | 3 | 3 |
| 10 | 3 | 3 | 3 |
| 20 | 3 | 3 | 3 |
| 30 | 3 | 3 | 3 |
| Subtotal | 12 | 12 | 12 |
| Total | 36 | | |

Tabla 5 Matriz de muestras realizadas para los ensayos a compresión con geotextil no tejido

| PORCENTAJE DE GEOTEXTIL NO TEJIDO (%) | EDAD DE ESPECÍMENES | | |
|---|----------------------------------|----|----|
| | 7 | 14 | 28 |
| | NUMERO DE ESPECÍMENES A ANALIZAR | | |
| 10 | 3 | 3 | 3 |
| 20 | 3 | 3 | 3 |
| 30 | 3 | 3 | 3 |
| Subtotal | 9 | 9 | 9 |
| Total | 27 | | |

Para la resistencia a la flexión se tuvo como variables la edad de los especímenes, el porcentaje de geotextil y el tipo de geotextil, se realizaron ensayos solamente a los 28 días con cuatro tipos de dosificaciones y dos tipos de geotextil, lo cual se describe a continuación en la **Tabla 6** y **Tabla 7**:



Tabla 6 Matriz de muestras realizadas para los ensayos a flexión con geotextil tejido

| PORCENTAJE DE GEOTEXTIL TEJIDO (%) | EDAD DE ESPECÍMENES (días) |
|--|----------------------------------|
| | NUMERO DE ESPECÍMENES A ANALIZAR |
| | 28 |
| 0 | 3 |
| 10 | 3 |
| 20 | 3 |
| 30 | 3 |
| Total | 12 |

Tabla 7 Matriz de muestras realizadas para los ensayos a flexión con geotextil no tejido

| PORCENTAJE DE GEOTEXTIL NO TEJIDO (%) | EDAD DE ESPECÍMENES (días) |
|---|----------------------------------|
| | NUMERO DE ESPECÍMENES A ANALIZAR |
| | 28 |
| 10 | 3 |
| 20 | 3 |
| 30 | 3 |
| Total | 9 |

4.3. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

El diseño de mezcla se realizó con el fin de tener un valor esperado de la resistencia a la compresión y flexión del concreto cuando se realicen los ensayos correspondientes, de esta forma se determinó la correlación que hay entre la resistencia del concreto con el porcentaje de geotextil incorporado. Esto se efectuó con base a la norma (ACI 211.1, 2002). La cual tiene en cuenta el tipo de construcción, el tamaño máximo de agregado, el cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire de esta, además de esto se tiene en cuenta la relación agua-cemento, pues esta es en gran medida, la responsable de la resistencia final del concreto, también se obtuvo el contenido de cemento, una estimación del contenido de agregado grueso y fino.

4.4. PREPARACIÓN DEL GEOTEXTIL

Se prepararon las fibras de geotextil tejido T2400 y no tejido NT2500, con unas longitudes comprendidas entre los 4 y 5 cm, estos cortes se realizaron de forma manual.

La **Ilustración 3** muestra los cortes realizados al geotextil tejido T2400. Debido a que este material esta constituido mediante cintas entrelazadas en sentido longitudinal y transversal, se hizo necesario separarlas para poder cortar las fibras del tamaño adecuado evitando así el desperdicio de material.

Esta situación no ocurre con el geotextil no tejido NT2500, pues su estructura de fibras mezcladas de manera aleatoria forma un material más uniforme que los geotextiles tejidos facilitando el corte de los mismos. Esto se evidencia en la **Ilustración 4**.

Ilustración 3 Cortes realizados al geotextil tejido T2400



Ilustración 4 Cortes realizados al geotextil no tejido NT2500



4.5. ELABORACIÓN Y CURADO DE LAS MUESTRAS (CILINDROS Y VIGUETAS)

La elaboración de las muestras de concreto se realizó con base a la norma NTC 550, la cual específica, el tamaño de las muestras utilizadas y como se prepararon. Esta etapa del proyecto se llevó a cabo después de tener lista la mezcla de concreto con sus respectivas dosificaciones. Se utilizó cilindros con dimensiones de 10 cm de diámetro con 20 cm de altura y viguetas con dimensiones de 15 cm de ancho y altura con 50 cm de largo (ICONTEC, 2000). Lo anterior se ejemplifica en la **Ilustración 5**.

Ilustración 5 Colocación de mezcla en las viguetas



Para el curado inicial de las muestras se mantuvo la temperatura de los moldes en un rango de que no exceda los 27°C , se mantuvo dichos especímenes en lugares alejados de la luz solar directa y regándolos , Al cabo de 2 días se extrajeron los cilindros y viguetas de los moldes , se introdujo en la piscina del laboratorio para completar su etapa de curado como se observa en la **Ilustración 6**, es decir, se mantuvo las muestras en condiciones de humedad y temperatura adecuada, para que esta última no supere los 23°C aproximadamente.

Ilustración 6 Curado final de las muestras a ensayar.

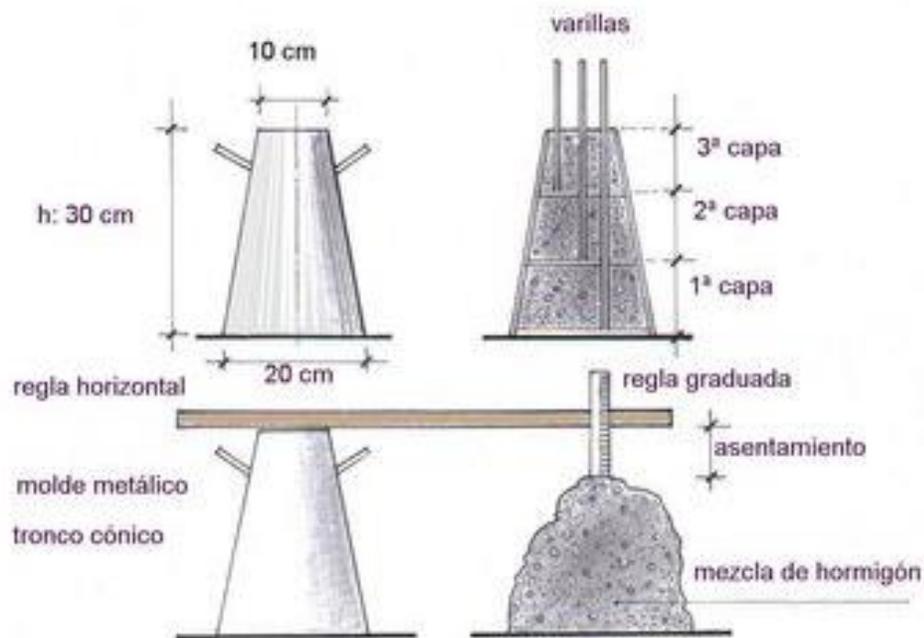


4.6. ENSAYOS MECÁNICO AL CONCRETO

En esta parte del proyecto se ejecutó los ensayos de asentamiento del concreto, resistencia a la compresión y flexión de este mismo, los cuales se llevaron a cabo con las normas NTC 396, 673 y 2871 respectivamente. El ensayo de asentamiento fue realizado en el campus de Piedra de Bolívar perteneciente a la Universidad de Cartagena, mientras que los ensayos de compresión y flexión se efectuaron en los laboratorios de la firma PROASERCON LTDA, ubicada en el Barrio el Prado.

El ensayo de asentamiento del concreto se hizo inmediatamente después de haber preparado la mezcla con sus distintas dosificaciones, para esto se tuvo el molde o cono de Abrams humedecido, es decir, antes de usarse estuvo totalmente sumergido en una piscina de agua, con el fin de que este no absorbiera la humedad de las muestras de concreto, el procedimiento de este ensayo se describe en la **Ilustración 7** y es detallado en la norma NTC 396 (ICONTEC, 1992).

Ilustración 7 Descripción del ensayo del cono de Abrams



***Fuente: Recuperado el 7 de Octubre de 2016, de CONSTRUMATICA:
http://www.construmatica.com/construpedia/Cono_de_Abrams***

Para la prueba de resistencia a la compresión se tomó la metodología implementada en la NTC 673, los ensayos se realizaron con una maquina universal. El manejo de las muestras fue de gran cuidado, primero se identificó que relación existía entre la perdida de consistencia de la mezcla por la adición de geotextil en sus versiones tejida T2400 y no tejida NT2500 con la presencia de patologías como fisuras y hormigueo, la cual se detalló en el apartado de resultados y discusiones. Al momento de extraer los cilindros de la piscina se secó superficialmente y se ensayó en el menor tiempo posible (ICONTEC, 2010). Los valores necesarios para la investigación se obtuvieron de la maquina universal, dicho ensayo se puede observar en la **Ilustración 8**.

Ilustración 8 Ensayo a compresión para un cilindro de estudio.



Después de realizar dichos ensayos se observó el comportamiento de las fisuras con respecto a las dosificaciones de fibras de geotextil que se empleó.

Se realizó el ensayo a flexión del concreto teniendo en cuenta los pasos dictados por la NTC 2871 (ICONTEC, 2004), para la ejecución del ensayo se utilizó la máquina universal. Como primer paso se tomaron las viguetas de la piscina y se secaron superficialmente, luego se llevaron a la máquina donde se le realizó el ensayo a la flexión. Se ubicó la vigueta de tal

manera que la fuerza que ejerció la máquina quedo repartida de manera uniforme en todo la viga, luego de esto se tomaron los datos suministrados por dicha máquina, tal ensayo se puede apreciar en la **Ilustración 9**.

Ilustración 9 Ensayo a flexión a una vigueta de estudio.





Obtenidos los datos de los ensayos de compresión y flexión, se consignaron en el formato observado en la para una mejor organización y apreciación, para una mejor interpretación de los datos registrados, estos fueron promediados y alojados en la ficha mostrada en la **Tabla 8 y Tabla 9.**

Tabla 8 Formato para la organización de datos

| PORCENTAJE DE GEOTEXTIL | | EDAD DE ENSAYO | | | | | | | | |
|-------------------------|-----------|----------------|---|---|----|---|---|----|---|---|
| | | 7 | | | 14 | | | 28 | | |
| BLANCO | 0 | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| | 10 | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| | 20 | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| GEOTEXTIL T2400 | 30 | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| | 10 | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| | 20 | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| GEOTEXTIL NT2500 | 30 | x | x | x | x | x | x | x | x | x |

Tabla 9 formato para resultados promedios

| PORCENTAJE DE GEOTEXTIL | | EDAD DE ENSAYO | | |
|-------------------------|-----------|----------------|----|----|
| | | 7 | 14 | 28 |
| Blanco | 0 | x | x | x |
| | 10 | x | x | x |
| | 20 | x | x | x |
| Geotextil T2400 | 30 | x | x | x |
| | 10 | x | x | x |
| | 20 | x | x | x |
| Geotextil NT2500 | 30 | x | x | x |



5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Con base a los procedimientos descritos en el capítulo anterior, se presentan los resultados y su análisis respectivo, permitiendo dar respuesta al comportamiento en estado fresco y endurecido del concreto cuando se le incorpora geotextil en sus versiones tejidas T2400 y no tejida NT2500.

5.1. DISEÑO DE MEZCLA

En esta etapa del proyecto se realizaron los cálculos y consideraciones necesarias para el diseño de mezcla con el cual se trabajó el proyecto, teniendo en cuenta las normas establecidas.

Para el diseño de mezcla como primer paso se analizó el asentamiento con el cual se trabajaría la mezcla de concreto, esto bajo unas condiciones de uso, colocación y homogenización. Para obtener el asentamiento se enfocó principalmente en la colocación de la mezcla en las formaletas, debido a que no se tenía una estructura definida y no se usaría vibrador de mezcla. El valor obtenido de asentamiento según el criterio de colocación manual, sin refuerzo, sin vibración y para estructuras simples, fue de un rango de 50mm a 100mm, por ello se optó por escoger un valor de 75mm ya que cumple las especificaciones.

El segundo paso consistió en obtener el tamaño máximo del agregado grueso que en este caso fue canto rodado, como los cilindros y viguetas no tendrían un refuerzo interior, el tamaño del agregado se manejó como máximo de 1 plg, es decir 2.54cm. Para el tamaño máximo del agregado grueso se calculó el porcentaje de aire atrapado naturalmente, ya que no se pensaba realizar procedimientos para aumentar o disminuir este, como es el porcentaje de aire acumulado naturalmente se le dio un valor de 1.5%.



Teniendo los valores de asentamiento y porcentaje de aire, se calculó la cantidad de agua a utilizar para $1m^3$ de concreto, el valor obtenido fue de $152 \text{ Kg}/m^3$, utilizando como agregado grueso el canto rodado.

Se trabajó con un concreto de $211 \text{ Kg}/cm^2$ en resistencia a la compresión, por tanto la relación agua cemento que se estableció fue 0.46, esto teniendo en cuenta la presencia de aire en la mezcla.

Teniendo la relación agua-cemento, se procedió a calcular la cantidad de cemento, siendo esta igual a:

$$C = \frac{\text{agua}}{\text{relacion}_{\text{agua-cemento}}} = \frac{152}{0.46} = 330 \text{ Kg}$$

El valor calculado de cemento fue de 330 Kg aproximadamente, resaltando que este era el mínimo a utilizar para obtener una resistencia de $211 \text{ Kg}/cm^2$, con una cantidad de agua de $152 \text{ Kg}/m^3$, debido a que se tomó el límite inferior de la relación agua-cemento, para diseños de estructuras normales, obtuvimos unas proporciones en volumen de 1:2:3.

5.2. CONCRETO FRESCO

Las propiedades del concreto en estado fresco como lo son la consistencia, manejabilidad y la plasticidad se vieron afectadas por la adición de los geotextiles de la serie PAVCO® en sus versiones tejida (T2400) y no tejida (NT2500). Lo anterior se evidencio con el ensayo del cono de Abrams. Los datos arrojados por el ensayo están consignados en la **Tabla 10**.



Tabla 10 Slump obtenido en (cm) para distintos porcentajes de geotextil

| Porcentaje de geotextil | Geotextiles PAVCO® | |
|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| | T2400 | NT2500 |
| 0% | 7 | 7 |
| 10% | 2,7 | 3,3 |
| 20% | 0,9 | 3 |
| 30% | 0,5 | 1 |

Los anteriores datos, se graficaron para cada tipo de geotextil. En estos se ilustraron tanto el asentamiento presentado para cada dosificación como la disminución porcentual de cada proporción de geotextil que se empleó, para ello se comparó cada proporción empleada con la muestra sin ningún tipo de adición. El **Grafico 1** arrojó que la incorporación de fibras de geotextil tejido T2400 disminuye en gran medida la manejabilidad de la mezcla, arrojando resultados tales que una adición del 10% de este material genera en la mezcla de concreto una reducción del asentamiento del 61%, para una de 20% una disminución del 87% y una incorporación del 30% provoca que la mezcla de concreto sea prácticamente inmanejable debido a que presenta una disminución en su consistencia del 93%.

El **Grafico 2** muestra resultados similares a los alojados en el **Grafico 1**. En este se encontró que una adición del 10% de geotextil no tejido NT2500 disminuye el asentamiento de la mezcla en un 53%, así como una del 20% genera una reducción del 57% y una incorporación del 30% de este tipo de fibra provoca una disminución del 86%.



Grafico 1 Representación del slump para distintas proporciones de geotextil tejido T2400 vs la disminución de cada una estas con respecto al blanco (0%).

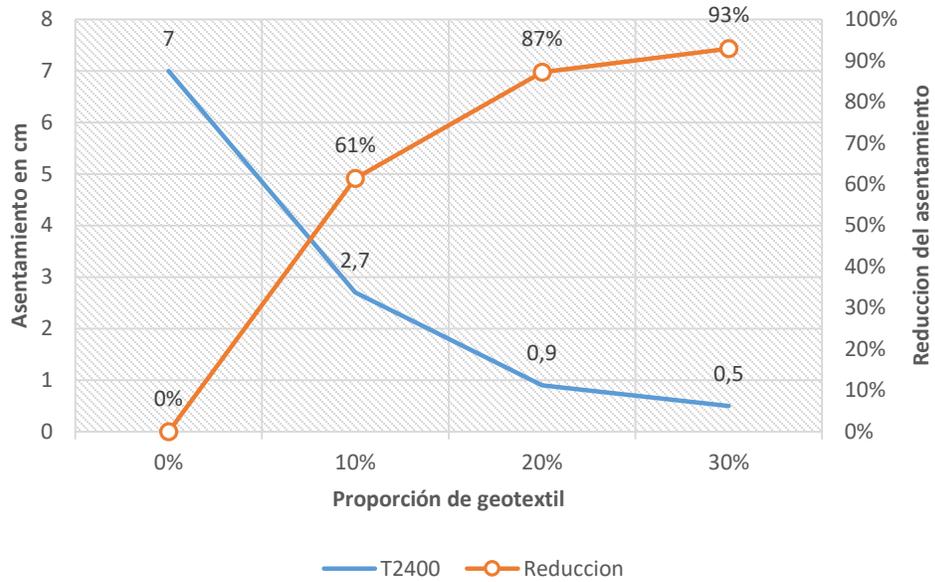
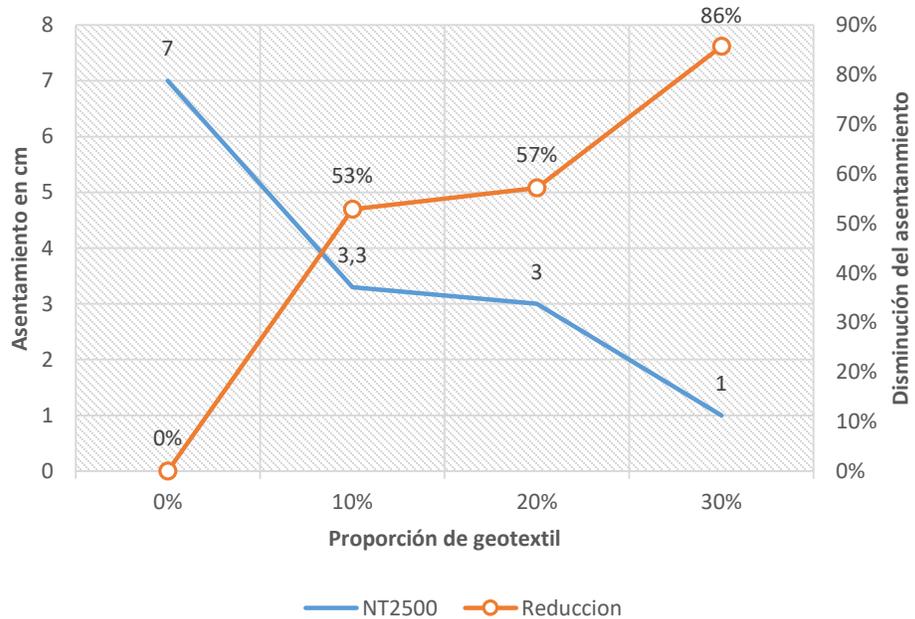


Grafico 2 Representación del slump para distintas proporciones de geotextil no tejido NT2500 vs la disminución de cada una estas con respecto al blanco (0%).



Al comparar la influencia de cada tipo de geotextil en el asentamiento de la mezcla, se observó que los casos más favorables (aunque estos no sean positivos) se presentaron con el geotextil no tejido. Lo anterior podría justificarse debido a que la estructura de este tipo de geotextil está diseñada para emplearse en obras de drenaje y filtración.

La siguiente ilustración muestra la pérdida de manejabilidad y plasticidad de la mezcla del concreto cuando se le adicionaron los geotextiles, en la **Ilustración 10** se observa el caso más adverso en términos de consistencia, el cual se dio cuando se le agrego un porcentaje de 30% de geotextil T2400 a la mezcla de concreto.

Ilustración 10 *Ensayo del cono de Abrams para un porcentaje de geotextil del 30% en su versión tejida*



5.3. CONCRETO ENDURECIDO

Luego de esperar los dos días para desencofrar las muestras, se realizó una inspección visual para verificar el estado de las mismas. En ella se encontró que las muestras con proporciones de fibra del 0% y 10% no reflejaron casos de hormiguo, esto se evidencia en la Ilustración 11 y la

Ilustración 12, donde se observan ejemplos claros de muestras a compresión con una proporción de fibras del 10% y una vigueta para ensayo sin adición de fibras sin ningún tipo de hormiguo.

Ilustración 11 Aspecto físico de muestras de concreto para ensayos a compresión con una dosificación del 10% de geotextil NT2500



Ilustración 12 Aspecto físico de muestras de concreto para ensayos a flexión sin adición de fibras de geotextil.



Por otro lado, las muestras con proporciones de fibra del 20% presentan hormigqueo de manera moderada mientras que las muestras con proporciones de fibra del 30% reflejan casos severos de hormigqueo. Lo anterior es una respuesta clara de la influencia de las fibras de geotextil en la mezcla del concreto, donde la baja trabajabilidad generada por las altas proporciones de este material provoca en el concreto endurecido, condiciones no ideales para su correcto comportamiento mecánico. Esto se puede apreciar en la **Ilustración 13** y la **Ilustración 14**.

Ilustración 13 Aspecto físico de muestras de concreto para ensayos a compresión con una dosificación del 20% de geotextil T2400



Ilustración 14 Aspecto físico de muestras de concreto para ensayos a compresión con una dosificación del 30% de geotextil T2400





5.3.1. Ensayo mecánico a la compresión

Los resultados obtenidos en los ensayos a compresión están alojados en la **Tabla 11**. Esta dispone la carga en KN que provocó el fallo teniendo en cuenta la edad de cada espécimen.

Tabla 11 Resultados obtenidos de la carga en (KN) para las distintas proporciones de geotextil

| PORCENTAJE DE GEOTEXTIL | | EDAD DE ENSAYO | | | | | | | | |
|-------------------------|-----------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 7 | | | 14 | | | 28 | | |
| BLANCO | 0 | 114,27 | 100,65 | 109,55 | 92,55 | 107,64 | 104,71 | 134,32 | 164,86 | 162,71 |
| GEOTEXTIL T2400 | 10 | 87,95 | 98,62 | 94,06 | 130,64 | 113,16 | 121,48 | 117,76 | 115,92 | 115,63 |
| | 20 | 92,00 | 91,82 | 92,48 | 80,59 | 71,21 | 74,92 | 103,22 | 132,66 | 110,07 |
| | 30 | 76,73 | 104,88 | 91,23 | 71,21 | 115,55 | 97,57 | 125,86 | 118,50 | 115,91 |
| GEOTEXTIL NT2500 | 10 | 82,25 | 112,61 | 102,13 | 124,02 | 131,01 | 127,36 | 172,41 | 171,12 | 171,58 |
| | 20 | 119,42 | 134,87 | 127,35 | 102,12 | 153,09 | 145,43 | 190,44 | 157,69 | 194,10 |
| | 30 | 94,39 | 107,09 | 103,32 | 110,03 | 126,78 | 120,06 | 168,91 | 155,11 | 165,17 |

Los datos de la anterior tabla, se procesaron con base en la **Ecuación (2)** obteniendo así los resultados de la resistencia a compresión del concreto, lo cual se encuentran organizados en la **Tabla 12**. Estos se promediaron teniendo en cuenta que hubo datos incongruentes, por tal motivo aquel dato que afectara la media por tener mucha discrepancia con su grupo no se tuvo en cuenta. Estos datos promediados se pueden apreciar en la **Tabla 13**.

Tabla 12 Resultados obtenidos de la resistencia a la compresión en (kg/cm²) para las distintas proporciones de geotextil

| PORCENTAJE DE GEOTEXTIL | | EDAD DE ENSAYO | | | | | | | | |
|-------------------------|-----------|----------------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|---------|--------|
| | | 7 | | | 14 | | | 28 | | |
| BLANCO | 0 | 148,43 | 130,74 | 142,30 | 120,22* | 139,82 | 136,02 | 174,48* | 214,16 | 211,36 |
| GEOTEXTIL T2400 | 10 | 114,25 | 128,11 | 122,18 | 169,70 | 146,99 | 157,80 | 152,97 | 150,58 | 150,20 |
| | 20 | 119,51 | 119,27 | 120,13 | 104,69 | 92,50 | 97,32 | 134,09 | 172,33* | 142,98 |
| | 30 | 99,67 | 136,24 | 118,50 | 92,50* | 150,10 | 126,74 | 163,48 | 153,92 | 150,57 |
| GEOTEXTIL NT2500 | 10 | 106,84* | 146,28 | 132,66 | 161,09 | 170,18 | 165,44 | 223,95 | 222,28 | 222,88 |
| | 20 | 155,12 | 175,20 | 165,42 | 132,65* | 198,86 | 188,91 | 247,38 | 204,83* | 252,13 |
| | 30 | 122,61 | 139,11 | 134,21 | 142,93 | 164,68 | 155,96 | 219,41 | 201,49 | 214,55 |

*Datos excluidos a la hora de realizar los promedios

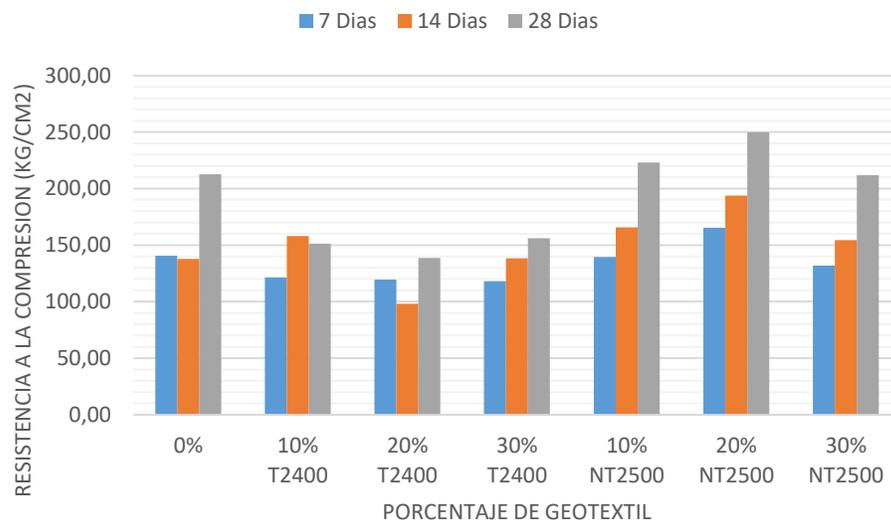


Tabla 13 Resultados promedios obtenidos de la resistencia a la compresión en (kg/cm²) para las distintas proporciones de geotextil

| PORCENTAJE DE GEOTEXTIL | | EDAD DE ENSAYO | | |
|-------------------------|-----------|----------------|--------|--------|
| | | 7 | 14 | 28 |
| Blanco | 0 | 140,49 | 137,92 | 212,76 |
| | 10 | 121,51 | 158,16 | 151,25 |
| Geotextil T2400 | 20 | 119,39 | 98,17 | 138,53 |
| | 30 | 118,14 | 138,42 | 155,99 |
| | 10 | 139,47 | 165,57 | 223,04 |
| Geotextil NT2500 | 20 | 165,25 | 193,88 | 249,75 |
| | 30 | 131,98 | 154,52 | 211,82 |

Los datos anteriormente expuestos se reflejan en el **Grafico 3**. Estos ilustran un resumen de los resultados promedios de cada proporción de geotextil propuesto, para los ensayos realizados a los 7, 14 y 28 días.

Grafico 3 Comparativa de los resultados de la resistencia a compresión según su edad y volumen agregado de geotextil.





Tomando como referencia la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se obtuvo las variaciones en la resistencia a la compresión del concreto cuando se le adiciono a este, fibras de geotextil en sus versiones tejida T2400 y no tejida NT2500. Estos valores están consignados en la **Tabla 14**.

Tabla 14 Variación de la resistencia a la compresión con respecto al blanco (0%)

| Porcentaje de geotextil (%) | | Variación |
|------------------------------------|-----------|------------------|
| Blanco | 0 | 0% |
| Geotextil T2400 | 10 | -28,9% |
| | 20 | -34,9% |
| | 30 | -26,7% |
| Geotextil NT2500 | 10 | 4,8% |
| | 20 | 17,4% |
| | 30 | -0,4% |

De la misma, se encontró que la adición de fibras de geotextil tejido T2400 no eleva la resistencia a la compresión del concreto en ninguna de sus de dosificaciones, por el contrario la incorporación de estas provoca que la resistencia a la compresión disminuya de manera considerable, pues la merma de un 28,9% para una proporción del 10%, del 34,9% para una del 20% y del 26,7% para una dosificación del 30% lo corroboran.

Lo anterior no ocurrió para aquellas muestras con fibras de geotextil no tejido NT2500 pues se encontró que la resistencia a la compresión para una dosificación del 10% presento un ligero incremento del 4,8%. Los resultados más favorables se obtuvieron con una proporción del 20%, puesto que se presentó un incremento del 17,4%. No obstante los resultados arrojados para una dosificación del 30% no reflejan un aumento de la resistencia aunque la disminución de esta fue mínima con un 0,4%.



5.3.2. Ensayo mecánico a la flexión

Los resultados obtenidos en los ensayos a compresión están alojados en la **Tabla 15**. Esta dispone la carga en KN que provoco el fallo teniendo en cuenta la edad de cada espécimen.

Tabla 15 Resultados obtenidos de la carga en (KN) para las distintas proporciones de geotextil

| Porcentaje de geotextil | | | | |
|--------------------------------|-----------|-------|-------|-------|
| Blanco | 0 | 15,20 | 15,49 | 15,33 |
| Geotextil T2400 | 10 | 16,60 | 18,70 | 17,32 |
| | 20 | 12,50 | 14,00 | 12,61 |
| | 30 | 11,00 | 12,00 | 11,97 |
| Geotextil NT2500 | 10 | 11,00 | 13,00 | 11,55 |
| | 20 | 12,80 | 13,00 | 12,70 |
| | 30 | 15,60 | 11,60 | 15,80 |

Los datos de la anterior tabla, se procesaron con base en la **Ecuación (5)** obteniendo así los resultados de la resistencia a la flexión del concreto, lo cual se encuentran organizados en la **Tabla 16**. Así mismo se promediaron estos valores y se obtuvo la resistencia media a la flexión para cada proporción de geotextil que se empleó, estos datos se consignaron en la **Tabla 17**.

Tabla 16 Resultados obtenidos de la resistencia a la flexión en (kg/cm²) para las distintas proporciones de geotextil

| Porcentaje de geotextil | | | | |
|--------------------------------|-----------|-------|-------|-------|
| Blanco | 0 | 34,44 | 35,10 | 34,73 |
| Geotextil T2400 | 10 | 37,61 | 42,37 | 39,24 |
| | 20 | 28,32 | 31,72 | 28,58 |
| | 30 | 24,92 | 27,19 | 27,12 |
| Geotextil NT2500 | 10 | 24,92 | 29,46 | 26,18 |
| | 20 | 29,00 | 29,46 | 28,78 |
| | 30 | 35,35 | 26,28 | 35,80 |



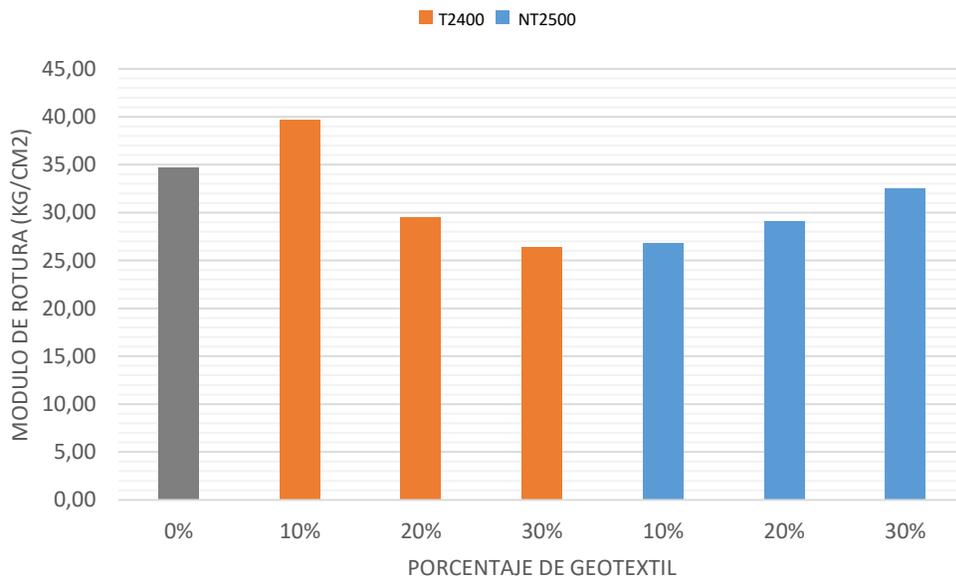
Tabla 17 Resultados promedios obtenidos de la resistencia a la flexión en (kg/cm²) para las distintas proporciones de geotextil

| Porcentaje de geotextil | | |
|--------------------------------|-----------|-------|
| Blanco | 0 | 34,76 |
| Geotextil T2400 | 10 | 39,74 |
| | 20 | 29,54 |
| | 30 | 26,41 |
| | 30 | 26,41 |
| Geotextil NT2500 | 10 | 26,85 |
| | 20 | 29,08 |
| | 30 | 32,48 |

Los datos anteriormente expuestos se reflejan en el

Grafico 4. Este ilustra un resumen de los resultados promedios de la resistencia a la flexión de cada proporción planteada para cada tipo de geotextil.

Grafico 4 Comparativa de los resultados de la resistencia a flexión según el volumen agregado de geotextil.





Tomando como referencia la **Tabla 17**, se obtuvo las variaciones en la resistencia a la flexión del concreto cuando se le adiciono a este, fibras de geotextil en sus versiones tejida T2400 y no tejida NT2500. Estos valores están consignados en la **Tabla 18**.

Tabla 18 Variación de la resistencia a la flexión con respecto al blanco (0%)

| Porcentaje de geotextil (%) | | Variación |
|------------------------------------|-----------|------------------|
| Blanco | 0 | 0% |
| Geotextil T2400 | 10 | 14,3% |
| | 20 | -15% |
| | 30 | -24% |
| Geotextil NT2500 | 10 | -22,7% |
| | 20 | -16,3% |
| | 30 | -6,6% |

De la tabla anterior, se encontró que la adición de fibras de geotextil no tejido NT2500 no aumento la resistencia a la flexión en ninguna de sus dosificaciones, debido a que todos los resultados para este tipo de fibra fueron adversos, sin embargo los valores de esta variaciones disminuían cada vez que aumentaba la proporción del geotextil como se evidencia en la **Tabla 18**.

El único caso favorable en los ensayos a flexión se mostró para una proporción de fibra del 10%, donde se presentó un aumento del 14,3%. Para las otras dosificaciones de este tipo de fibra se encontró que la resistencia a la flexión disminuía a la vez que aumentaba la proporción de dicho material en la mezcla de concreto, obteniendo resultados hasta del 24% en la disminución de la resistencia para una dosificación del 30%.



5.4. EVALUACIÓN DE COSTOS

En este apartado se obtiene los resultados de la estimación de los costos para la producción de un concreto sin ningún tipo de adición y con incorporaciones representativas de cada tipo de geotextil planteado.

Según los resultados hallados anteriormente, incorporarle fibras de geotextil NT2500 con una dosificación del 20% a una mezcla con resistencia a la compresión de 211 Kg/cm² provoca en este un aumento en esta característica del 16%.

Por tanto fue necesario comparar los costos de una mezcla sin ningún tipo de adición basándose en una resistencia a la compresión similar a la arrojada por la mezcla de concreto con incorporación de geotextil, en este caso fue de 246 kg/cm².

Cabe aclarar que en los siguientes análisis de precios unitarios se describe solo los costos que interviene en la fabricación del concreto (equipos, materiales y mano de obra) por lo que gastos referentes a A.I.U. no se tiene en cuenta.

El

Cuadro 1 muestra el costo de un concreto con una resistencia a la compresión de 246 Kg/cm² (3500 psi), mientras que el Cuadro 2 muestra el costo de un concreto de 211 Kg/cm² (3000 psi) con una incorporación de fibras de geotextil NT2500 con una proporción del 20%.

Contrastando los costos finales de los cuadros 1 y 2, se obtiene que los costos incrementan en un 48,42% para la fabricación del concreto con resistencia a la compresión 211 Kg/cm² cuando se le adiciona el geotextil NT2500 con una proporción del 20%, en comparación con un concreto sin adición con resistencia de 246 Kg/cm².



Cuadro 1 A.P.U. Para un concreto de 246 kg/cm²

| EQUIPO | | | | |
|---------------------|-----------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | TARIFA | RENDIMIENTO | V. PARCIAL |
| Herramienta menor | | \$1.000 | 1 | \$1.000 |
| Mezcladora X hora | 1 | \$7.500 | 1 | \$7.500 |
| | | | Subtotal | \$8.500 |
| MATERIALES | | | | |
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | V. UNITARIO | V. PARCIAL |
| Cemento | kg | 420 | \$420 | \$176.400 |
| Arena | m ³ | 0,67 | \$35.000 | \$23.450 |
| Triturado | m ³ | 0,67 | \$90.000 | \$60.300 |
| Agua | L | 250 | \$20 | \$5.000 |
| | | | Subtotal | \$265.150 |
| MANO DE OBRA | | | | |
| DESCRIPCIÓN | Cantidad | RENDIMIENTO | V. UNITARIO | V. PARCIAL |
| Obreros | 7 | 0,2 | \$40.000 | \$56.000 |
| Oficial | 1 | 0,2 | \$60.000 | \$12.000 |
| | | | Subtotal | \$68.000 |
| | | | Total | \$341.650 |



Cuadro 2 A.P.U. Para un concreto de 211 kg/cm² con una incorporación 20% de geotextil tejido NT2500

| EQUIPO | | | | |
|---------------------|-----------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | TARIFA | RENDIMIENTO | V. PARCIAL |
| Herramienta menor | | \$1.000 | 1 | \$1.000 |
| Mezcladora X hora | 1 | \$7.500 | 1 | \$7.500 |
| | | | Subtotal | \$8.500 |
| MATERIALES | | | | |
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | V. UNITARIO | V. PARCIAL |
| Cemento | Kg | 330 | \$420 | \$138.600 |
| Arena | m ³ | 0,588 | \$35.000 | \$20.580 |
| Triturado | m ³ | 0,882 | \$90.000 | \$79.380 |
| Agua | L | 152 | \$20 | \$3.040 |
| Geotextil NT2500 | MI | 10,5 | \$18.000 | \$189.000 |
| | | | Subtotal | \$430600 |
| MANO DE OBRA | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | RENDIMIENTO | V. UNITARIO | V. PARCIAL |
| Obreros | 7 | 0,2 | \$40.000 | \$56.000 |
| Oficial | 1 | 0,2 | \$60.000 | \$12.000 |
| | | | Subtotal | \$68.000 |
| | | | Total | \$507.100 |

A su vez, de los cuadros 1 y 3 se obtiene que los costos incrementan en un 24,38% para la fabricación del concreto con resistencia a la flexión de 36,3 Kg/cm² cuando se le adiciona el geotextil T2400 con una proporción del 10%, en comparación con un concreto sin adición con resistencia de 39,2 Kg/cm².



Cuadro 3 Para un concreto de 211 kg/cm² con una incorporación 20% de geotextil tejido T2400

| EQUIPO | | | | |
|---------------------|-----------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | TARIFA | RENDIMIENTO | V. PARCIAL |
| Herramienta menor | | \$1.000 | 1 | \$1.000 |
| Mezcladora X hora | 1 | \$7.500 | 1 | \$7.500 |
| | | | Subtotal | \$8.500 |
| MATERIALES | | | | |
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | V. UNITARIO | V. PARCIAL |
| Cemento | kg | 330 | \$420 | \$138.600 |
| Arena | m ³ | 0,588 | \$35.000 | \$20.580 |
| Triturado | m ³ | 0,882 | \$90.000 | \$79.380 |
| Agua | L | 152 | \$20 | \$3.040 |
| Geotextil T2400 | ml | 5,25 | \$20.350 | \$106.838 |
| | | | Subtotal | \$348.438 |
| MANO DE OBRA | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | RENDIMIENTO | V. UNITARIO | V. PARCIAL |
| Obreros | 7 | 0,2 | \$40.000 | \$56.000 |
| Oficial | 1 | 0,2 | \$60.000 | \$12.000 |
| | | | Subtotal | \$68.000 |
| | | | Total | \$424.938 |



6. CONCLUSIONES

Con base al análisis hecho por medio del ensayo de asentamiento (slump), se llegó a la conclusión de que la incorporación de geotextil a la macro estructura del concreto, reduce en gran medida la manejabilidad de este, puesto que, al apreciar las gráficas uno y dos se observa que en el caso más favorable de asentamiento de la muestra de concreto se redujo en un 57%, es decir, paso de tener un asentamiento de 7 cm a uno de 3,3 cm, este caso se presentó con la incorporación del 10% de fibra de geotextil NT2500.

Utilizar el geotextil como una incorporación al concreto no sería favorable bajo condiciones normales, ya que, su poca manejabilidad dificulta la colocación de este en formaletas de poca área o que en estas se tenga presencia de acero de refuerzo.

Así mismo, la presencia del geotextil aumenta la probabilidad de que aparezcan lo denominado como hormiguelo en la estructura, por lo cual se haría necesaria la utilización de aditivos plastificante que la den la manejabilidad adecuada al concreto, sin la necesidad de agregar más cantidad de agua, debido a que repercutiría en la resistencia final que pueda presentar el concreto.

Por otro parte, con los resultados obtenidos de los ensayos de compresión realizados a las muestras de cilindro, se puede concluir que en primera instancia el volumen óptimo de fibra de geotextil NT2500 para el caso de compresión es del 20%, pues, reflejo el mayor incremento en cuanto a dicha resistencia, arrojando una variación del 16%.

Además de lo anterior, esta proporción de fibras controló eficazmente las fisuras producidas en los cilindros ensayados, ya que, para el caso de los blancos tales fisuras se propagaron a lo largo de la estructura.

Para el caso de las fibras de geotextil T2400 se pudo establecer que estas no mejoran la resistencia del concreto a la compresión, pues, a medida que aumentaba el volumen de fibra, la resistencia no presentaba mejoría.



En cuanto a la resistencia a la flexión se determinó que las fibras de geotextil NT2500 no incrementan la resistencia del hormigón, a pesar de que se observó que a mayor volumen de fibra, los valores de resistencia se acercaban hacia la muestra patrón.

En el caso de las fibras de geotextil T2400, se concluyó que el volumen óptimo de fibra es de 10%, con un aumento de la resistencia a la flexión del 13%.

Debido a los resultados hallados, no se puede seleccionar un tipo de fibra de geotextil, ni mucho menos una dosificación de estas como una adición óptima del concreto, ya que, no se obtuvo un caso en el cual se mejorara o mantuviera las mismas características para la compresión y flexión de este, lo anterior se puede explicar, con base a las características físicas y de uso de los geotextiles.

Observando los resultados de los ensayo a flexión, es razonable que la fibra de geotextil T2400 aumentara en mayor medida la resistencia de este, en comparación con las fibras de NT2500, debido a que el geotextil T2400 es usado como refuerzo en obras como muros, terraplenes y suelos, de acuerdo a su alta resistencia mecánica a la tracción y su baja deformabilidad.

Por el contrario, los resultados de los ensayos a compresión se encontró una mejoría en la resistencia con la fibra de geotextil NT2500, lo cual se puede responder en la propiedades que este brinda, ya que, permite una mayor elongación antes de fallar y su excelente permeabilidad en comparación con el geotextil T2400 permite una mejor adherencia del concreto, pues forma un elemento más homogéneo que en el caso de la fibra de geotextil T2400.

Desde el punto de vista económico, se puede concluir que la implementación de fibras de geotextil en cualquiera de versiones estudiadas no es viable si solo se tiene en cuenta la resistencia final a la compresión y flexión que estas puedan ofrecer.

Sin embargo los beneficios de la utilización de este material se encaminan en el aumento de la resistencia mecánica, una mejor distribución de fisuras que repercute directamente en la durabilidad del concreto, así como un menor deterioro debido a la resistencia de la fibra a los agentes químicos y la no reacción de estas con los compuestos del cemento.



Por tales motivos, al no presentar un aumento drástico en la resistencia del hormigón, de esta investigación se concluye que este tipo de fibra no es apta para ser usada con un concreto con fin estructural, por lo cual, deben ser utilizadas en otras campos, tales como pavimentos, especialmente concretos para placa-huella, debido a que en este no son utilizados grandes volúmenes de concreto puesto que las cargas generadas por el tránsito son generalmente bajas, generando menores fisuras con una misma resistencia, aumentando así la durabilidad de la vía. De este modo la inversión inicial podría recuperarse a largo plazo, pues los costos de mantenimiento de esta se reducirían.



RECOMENDACIONES

Con el fin de seguir con esta línea de investigación, se realizó una serie de recomendaciones, para obtener una información más profunda acerca del tema tratado, en base a los resultados obtenidos con este proyecto.

Para posteriores investigaciones, se recomienda la implementación de aditivos plastificantes, que le den la manejabilidad adecuada al hormigón, pues, al no tener dicha consistencia, genera una elaboración de muestras de baja calidad, que repercutirán directamente en la resistencia que pueda generar el concreto.

Con el fin de explorar nuevas formas de utilización de los geotextiles, se recomienda el estudio de nuevas formas de incorporación de este con el concreto, un ejemplo sería una adherencia externa, lo que es conocido como encamisado, pues para el caso de geotextil T2400 este presentó una mejoría en la resistencia a flexión.

Además, se invita a que se estudie la factibilidad de elaborar fibras con las mismas técnicas de producción de geotextil, como por ejemplo: la conformación de varios filamentos de polímeros unidos por calor que representarían la fibra.

Al no tener una base comparativa concreta entre diferentes estudios con fibras de polipropileno, se hace necesaria la elaboración de nuevas investigaciones en las cuales se mantengan características o variables similares, pues, si se mantienen dichas características es posible entender aún mejor el comportamiento de los geotextiles en forma de fibras, ya que, se permitiría realizar comparaciones directas entre cada una de estas investigaciones, estas variables estarían representadas en porcentajes de adición, mecanismos de incorporación, longitud y diámetros de fibras.

Se recomienda realizar nuevos ensayos con la misma metodología, pues se evidenció una mejoría en la distribución de las fisuras producidas en el concreto, por lo cual, un estudio de durabilidad ampliaría la investigación realizada, concretando así nuevas formas de aplicación de los geotextiles.



Por último se recomienda estudiar la adherencia que tengan estas fibras con el concreto, pues en los ensayos de compresión, se observó que estos fallan prematuramente debido al desprendimiento que ocurría entre el concreto y la fibra, pues al mejorar este aspecto, la resistencia también lo haría.



REFERENCIAS

- ACI 211.1. (2002). ACI 211.1-91. *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.*
- Afroughsabet, A., & Ozbakkaloglu, T. (30 de Septiembre de 2015). Mechanical and durability properties of high-strength concrete containing steel and polypropylene fibers. *Construction and Building Materials* 94, 73-82. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.06.051
- ASTM C 293. (s.f). Método de ensayo estándar para resistencia a la flexión del concreto (Usando una viga simple con carga al centro del claro).
- ASTM C 78. (s.f). Método de Ensayo Normalizado para la Determinación de la Resistencia a la Flexión del Concreto (Utilizando Viga Simple con Carga en los Tercios del Claro).
- Boada Marcano, M., & Pérez Niel, E. (2011). *Comportamiento a la fatiga de una mezcla de concreto MR-3.5MPa para pavimento con adición de fibras plásticas (Tesis Master)*. Bogota: Pontificia Universidad Javeriana.
- Casas Flores, R. (2014). Materiales filantes: naturales y prefabricados. En *Preparacion del terreno para para la instalacion de infraestructuras y plantación de frutales UF0010* (págs. 50-51). España: Ediciones Paraninfo.
- Del Valle Moreno, A., Pérez López, T., & Martinez Madrid, M. (2001). El fenomeno de la corrosion en estructura de concreto reforzado. Queretano, Mexico. Recuperado el 14 de Septiembre de 2016, de <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt182.pdf>
- Gallo Arciniegas, L. P., Gonzáles Peñuela, G., & Carrillo León, J. (Junio de 2013). Comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero ZP-306 sometido a esfuerzos de compresión. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina*, 23(1), 125-131.



- GRUPPO INDUSTRIALE MACCAFERRI. (2007). Fibras como elemento estructural para el refuerzo del hormigon. Brasilia, Brasil. Recuperado el 5 de Agosto de 2016, de http://www.aprocons.org.py/doc/pavimento/manual_fibras.pdf
- Gutiérrez de López, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción* (Segunda ed.). Manizales, Colombia: Universidad Nacional.
- Harmsen, T. E. (2005). *Diseño de estructuras de concreto armado* (Cuarta ed.). Lima: Fondo editorial de la Pontificia universidad catolica de Peru.
- ICONTEC. (15 de Enero de 1992). NTC 396. *Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto*. Bogota.
- ICONTEC. (21 de Agosto de 2000). NTC 550. *Concretos. Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra*. Bogota.
- ICONTEC. (16 de Diciembre de 2004). NTC 2871. *Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios)*. Bogota.
- ICONTEC. (17 de Febrero de 2010). NTC 673. *Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*. Bogota.
- Irías Pineda, A. (Junio de 2013). *Refuerzos de elementos estructurales con hormigones con fibras o solo fibra (tesis master)*. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid. Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de http://oa.upm.es/19998/1/Tesis_master_Ana_Sofia_Irias_Pineda.pdf
- Koerner, R. M. (2005). *Designing with geosynthetics* (Quinta ed.). Pearson Prentice Hall.
- Lievano, M. D., & Gutierrez Torres, A. P. (2011). *Características de fisuras en vigas de concreto reforzado con adición de fibras de polipropileno sometidas a flexion dinámica*. Bogota D. C., Colombia: Pontificia Universidad Javeriana (Tesis de grado). Obtenido de



<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7294/tesis506.pdf?sequence=1>

López Cruz, J. A. (2014). *Propiedades mecánicas del concreto modificado a base de fibras de nylon y polipropileno para su uso en elementos estructurales (Tesis de Pregrado)*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

Mahadik, S. A., Kamane, S. K., & Lande, A. C. (4 de Octubre de 2014). Effect of Steel Fibers on Compressive and Flexural Strength of Concrete. *International Journal of Advanced Structures and Geotechnical Engineering*, 3(No 4), 388-392.

Mc Cormac, J., & Rusell, H. (2011). *Diseño de concreto reforzado* (Octava ed.). Mexico D.F.: Alfaomega.

MEKA. (2016). *MEKA Plantas de Concreto*. Obtenido de Concreto reforzado con fibra y MEKA Sistemas de Dosificación de Fibras: <https://www.mekaconcreteplants.com/es/productos/sistemas-de-dosificacion-de-fibras>

Mendoza, C., Aire, C., & Dávila, P. (2011). Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido. *Concreto Y Cemento: Investigación Y Desarrollo*, 2(2), 40-45.

Meza, A., Ortiz, J., Peralta, L., Pacheco, J., Soto, J., Rangel, S., . . . Alvarado, J. (2014). Estudio experimental de caracterización mecánica del concreto reforzado con fibras de acero y de polipropileno. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería*, 37(2), 109-113.

Nilson, A. H., & Darwin, D. (2001). *Design of Concrete Structure*. New York: McGRAW-HILL INTERAMERICANA.

Norma ASTM C 39. (s.f). Método estándar de prueba para la resistencia a la compresión de elementos cilíndricos de concreto.



- Patel, P., Desai, A., & Desai, J. (2012). Evaluation of engineering properties for polypropylene fibre reinforced concrete. *International Journal of Advanced Engineering Technology*, 3, 42-45.
- PAVCO. (Junio de 2012). Manual de diseño con geosinteticos. (Novena ed.). Bogota, Colombia. Recuperado el 5 de Octubre de 2016, de <http://www.geosoftpavco.com/manualvirtual/document.pdf>
- PAVCO. (Junio de 2012). Manual de diseño con geosinteticos. *Ilustración*. Recuperado el 5 de Octubre de 2016, de <http://www.geosoftpavco.com/manualvirtual/document.pdf>
- PAVCO. (s.f). Soluciones con geotextiles tejidos y no tejidos.
- Rodriguez Campos, J. (2011). El concreto como solucion sustentable. *Seminario Internacional eficiencia energetica en edificaciones avances y retos en colombia*. Recuperado el 10 de Octubre de 2016, de <http://www.upme.gov.co/Docs/Seminarios/2011/EEE/3%20JOSE%20RODRIGUEZ%20CAMPOS.pdf>
- Rodríguez Lozano, J., & Segura Vicent, E. (2013). *Análisis comparativo del efecto de los distintos tipos de fibras en el comportamineto post fisura del hormigon reforzado con fibras (Tesis de pregrado)*. Valencia, España: Universitat Politècnica de Valencia.
- (s.f). Recuperado el 7 de Octubre de 2016, de CONSTRUMATICA: http://www.construmatica.com/construpedia/Cono_de_Abrams
- Sabanés Hernández, M. A. (Junio de 2013). *Uso de no tejidos de fibra vegetal en matrices de cementos para materiales de la construcción (tesis master)*. Recuperado el 6 de Agosto de 2016, de Universitat Politècnica de Catalunya Barcelonatech: http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/19871/TFM_Sabanes_Alethia_FVMC%2001.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sanchez De Guzman, D. (2001). *Tecnología del concreto y el mortero* (Quinta ed.). Sante Fe de Bogota: Bhandar editores LTDA.



- Song, P., Hwang, S., & Sheu, B. (2005). Strength properties of nylon- and polypropylene-fiber-reinforced concretes. *Cement and Concrete Research*(35), 1546 – 1550. doi:0.1016/j.cemconres.2004.06.033
- Vairagade, V. S., & Kene, K. S. (2013). Strength of normal noncrete using metallic and synthetic fibers. *Procedia Engineering (Chemical, Civil and Mechanical Engineering Tracks of 3rd Nirma University International Conference)*(51), 132-140. doi:10.1016/j.proeng.2013.01.020
- WBSCD. (2012). *Iniciativa para la sostenibilidad del cemento*. Obtenido de Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible (WBSCD): [http://csiprogress2012.org/CSI%20Progress%20Report%20-%20summary%20version%20\(Spanish\)_for%20web.pdf](http://csiprogress2012.org/CSI%20Progress%20Report%20-%20summary%20version%20(Spanish)_for%20web.pdf)

ANEXOS

En este apartado están arrojadas las fichas de técnicas de los geotextiles tejidos y no tejidos que suministra la firma PAVCO®. De esto se tienen que tener en cuenta las versiones T2400 y NT2500 que son las que se utilizaran en este proyecto. Además de otras ilustraciones pertenecientes al proyecto.



Anexo A



Anexo B



Anexo C



Anexo D



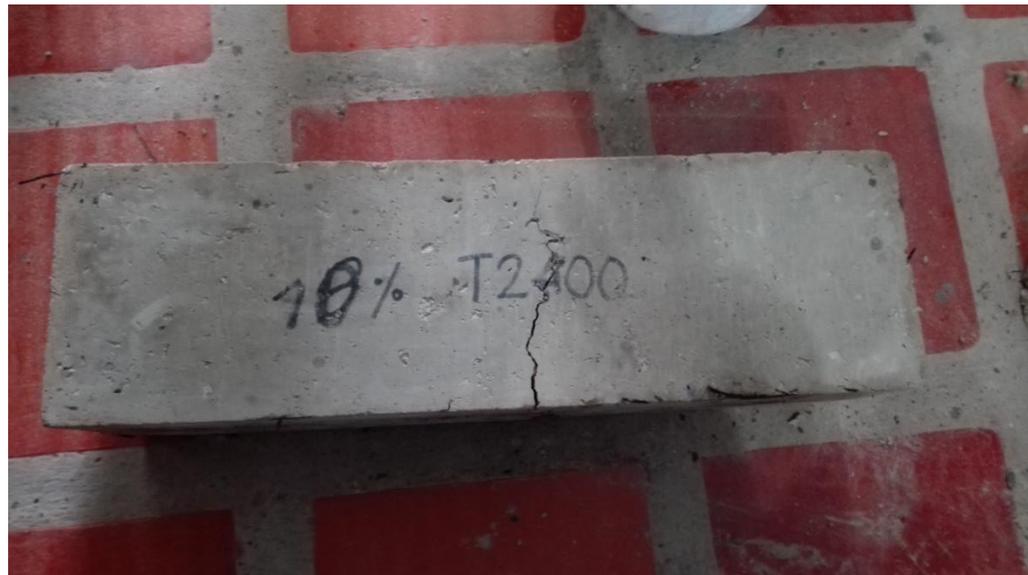
Anexo E



Anexo F



Anexo G



Anexo H



Anexo I

Anexo J Ficha técnica de geotextiles tejidos proporcionados por PAVCO.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MARV

| PROPIEDADES MECÁNICAS | NORMA | UNIDAD | T 1050 | T 1400 | T 1700 | T 2100 | T 2400 | TR 3000 | TR 4000 | TR 6000 |
|---|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Método Grab Resistencia a la tensión | ASTM D4632 | N (lb) % | 680 (153) 18 | 790 (178) 13 | 800 (180) 16 | 1140 (257) 15 | 1410 (317) 15 | 1870 (421) 19 | 2400 (540) 16 | 2900 (653) 22 |
| Método tira ancha Sentido longitudinal Elongación | ASTM D4595 | kN/m % | 17 18 | 22 19 | 22 15 | 33 18 | 41 20 | 58 22 | 66 22 | 112 19 |
| Sentido transversal Elongación | ASTM D4595 | kN/m % | 21 13 | 21 11 | 26 12 | 34 13 | 40 15 | 55 15 | 57 15 | 115 18 |
| Resistencia al punzonamiento | ASTM D4833 | N (lb) | 350 (79) | 450 (101) | 475 (107) | 556 (125) | 659 (148) | 900 (203) | 1060 (238) | 1045 (235) |
| Método CBR Resistencia al punzonamiento | ASTM D6241 | kN | 2.8 | 3.3 | 3.4 | 4.8 | 4.9 | 7.0 | 8.0 | 11.0 |
| Resistencia al rasgado trapezoidal | ASTM D4533 | N (lb) | 275 (62) | 230 (52) | 300 (68) | 400 (90) | 500 (113) | 606 (136) | 690 (155) | 1462 (329) |
| Método Mullen Burst Resistencia al estallido | ASTM D3786 | kPa (psi) | 2150 (312) | 2765 (401) | 3013 (437) | 3689 (535) | 4447 (645) | 5895 (856) | 6653 (965) | 7791 (1130) |
| PROPIEDADES HIDRÁULICAS | NORMA | UNIDAD | T 1050 | T 1400 | T 1700 | T 2100 | T 2400 | TR 3000 | TR 4000 | TR 6000 |
| Tamaño de abertura aparente | ASTM D4751 mm (N° Tamiz) | | 0.600 (30) | 0.425 (40) | 0.425 (40) | 0.300 (50) | 0.425 (40) | 0.600 (30) | 0.600 (30) | 0.425 (40) |
| Permeabilidad | ASTM D4491 | cm/s | 0.8×10^{-2} | 0.8×10^{-2} | 0.6×10^{-2} | 4.8×10^{-2} | 4.2×10^{-2} | 5.1×10^{-2} | 6.4×10^{-2} | 6.5×10^{-2} |
| Permitividad | ASTM D4491 | s ⁻¹ | 0.26 | 0.15 | 0.10 | 0.53 | 0.53 | 0.51 | 0.54 | 1.10 |
| Tasa de flujo | ASTM D4491 | L/min/m ² | 758 | 422 | 265 | 1900 | 1450 | 1490 | 1500 | 1770 |
| PROPIEDADES FÍSICAS | NORMA | UNIDAD | T 1050 | T 1400 | T 1700 | T 2100 | T 2400 | TR 3000 | TR 4000 | TR 6000 |
| Espesor | ASTM D5199 | mm | 0.3 | 0.5 | 0.6 | 0.9 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 0.5 |
| Resistencia UV @ 500 horas | ASTM D4355 | % | >70 | >70 | >70 | >70 | >70 | >70 | >70 | >50 |
| Rollo ancho | Medido | m | 3.85 | 3.85 | 3.85 | 3.85 | 3.85 | 3.85 | 3.85 | 3.75 |
| Rollo largo | Medido | m | 200 | 160 | 160 | 140 | 120 | 100 | 100 | 100 |
| Rollo área | Calculado | m ² | 770 | 616 | 616 | 539 | 462 | 385 | 385 | 375 |
| PROPIEDADES GEOTEXTIL | NORMA | UNIDAD | T 1050 | T 1400 | T 1700 | T 2100 | T 2400 | TR 3000 | TR 4000 | TR 6000 |
| Separación | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Estabilización | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Refuerzo | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

CONVENCIONES

ASTM: American Society for Testing and Materials.
N.A.: No aplica.

Geosistemas PAVCO se reserva el derecho de introducir las modificaciones de especificaciones que considere necesarias para garantizar la óptima calidad y funcionalidad de sus productos sin previo aviso. La información aquí contenida se ofrece gratis y es cierta y exacta a nuestro leal saber y entender; no obstante, todas las recomendaciones y sugerencias están hechas sin garantía, puesto que las condiciones de uso están fuera de nuestro control.

Los valores enunciados corresponden a los valores MARV, que son el valor resultante del promedio estadístico menos dos veces la desviación estándar de los datos históricos.

Los geotextiles son productos fotodegradables, no biodegradables, no deben ser incinerados y se debe disponer de ellos en forma adecuada.

Estos productos han sido manufacturados bajo los controles de calidad establecidos por un sistema de gestión de calidad que cumple con los requisitos ISO 9001:2008.

Para asesoría en diseño, proceso constructivo e instalación, favor contactar al Departamento de Ingeniería de geosistemas PAVCO al siguiente correo:

ingenieriageosinteticosamco@pavco.com.co

Fuente: PAVCO. (2012). Manual de diseño con geosinteticos. Ilustración. Recuperado el 5 de Octubre de 2016, de <http://www.geosoftpavco.com/manualvirtual/document.pdf>

Anexo K Ficha técnica de geotextiles no tejidos proporcionados por PAVCO.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
MARV

| PROPIEDADES MECÁNICAS | NORMA | UNIDAD | NT 1600 | NT 1800 | NT 2000 | NT 2500 | NT 3000 | NT 4000 | NT 5000 | NT 6000 | NT 7000 | REPAV 400 | REPAV 450 |
|---|------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|------------------|
| Método Grab Resistencia a la tensión Elongación | ASTM D4632 | N (lb) % | 400 (90) >50 | 470 (106) >50 | 500 (113) >50 | 700 (158) >50 | 703 (158) >50 | 980 (221) >50 | 1165 (262) >50 | 1310 (295) >50 | 1530 (345) >50 | 470 (106) >50 | 550 (124) >50 |
| Resistencia al punzonamiento | ASTM D4833 | N (lb) | 200 (45) | 265 (60) | 320 (72) | 350 (79) | 400 (90) | 520 (118) | 650 (146) | 750 (169) | 890 (201) | 270 (61) | 280 (63) |
| Método CBR Resistencia al punzonamiento | ASTM D6241 | kN | 1.2 | 1.3 | 1.5 | 2.1 | 2.1 | 2.8 | 3.3 | 4.0 | 4.6 | N. A. | N. A. |
| Resistencia al rasgado trapezoidal | ASTM D4533 | N (lb) | 164 (37) | 210 (47) | 185 (42) | 260 (59) | 295 (66) | 350 (79) | 400 (90) | 470 (106) | 570 (128) | 200 (45) | 230 (52) |
| Método Mullen Burst Resistencia al estallido | ASTM D3786 | kPa (psf) | 1139 (165) | 1380 (200) | 1656 (240) | 1794 (260) | 2070 (300) | 2484 (360) | 3036 (440) | 3519 (510) | 4554 (660) | 1380 (200) | 1518 (220) |
| PROPIEDADES HIDRÁULICAS | NORMA | UNIDAD | NT 1600 | NT 1800 | NT 2000 | NT 2500 | NT 3000 | NT 4000 | NT 5000 | NT 6000 | NT 7000 | REPAV 400 | REPAV 450 |
| Tamaño de abertura aparente | ASTM D4751 | mm (N.° Tamiz) | 0.212 (70) | 0.180 (80) | 0.180 (80) | 0.150 (100) | 0.150 (100) | 0.106 (140) | 0.125 (120) | 0.106 (140) | 0.090 (170) | N. A. | N. A. |
| Permeabilidad | ASTM D4491 | cm/s | 26 x 10 ⁻² | 27 x 10 ⁻² | 25 x 10 ⁻² | 29 x 10 ⁻² | 27 x 10 ⁻² | 20 x 10 ⁻² | 22 x 10 ⁻² | 17 x 10 ⁻² | 12 x 10 ⁻² | N. A. | N. A. |
| Permitividad | ASTM D4491 | s ⁻¹ | 2.0 | 1.9 | 1.7 | 1.7 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 0.6 | 0.4 | N. A. | N. A. |
| Tasa de flujo | ASTM D4491 | L/min/m ² | 5530 | 5400 | 4750 | 4800 | 4400 | 2930 | 2700 | 1920 | 1200 | N. A. | N. A. |
| Retención de asfalto | ASTM D6140 | L/m ³ | N. A. | 0.9 | 1.0 |
| PROPIEDADES FÍSICAS | NORMA | UNIDAD | NT 1600 | NT 1800 | NT 2000 | NT 2500 | NT 3000 | NT 4000 | NT 5000 | NT 6000 | NT 7000 | REPAV 400 | REPAV 450 |
| Espesor | ASTM D5199 | mm | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.7 | 1.8 | 2.0 | 2.2 | 2.8 | 2.9 | 1.3 | 1.4 |
| Resistencia UV @ 500 horas | ASTM D4355 | % | >70 | >70 | >70 | >70 | >70 | >70 | >70 | >70 | >70 | >70 | >70 |
| Punto de fusión | ASTM D276 | °C | N. A. | 150 | 150 |
| Rollo ancho | Medido | m | 3.5 · 3.8 · 4.0 | 3.5 · 3.8 · 4.0 | 3.5 · 3.8 · 4.0 | 3.5 · 3.8 · 4.0 | 3.5 · 3.8 · 4.0 | 3.5 · 3.8 · 4.0 | 3.5 · 3.8 · 4.0 | 3.5 · 3.8 · 4.0 | 3.5 · 3.8 · 4.0 | 3.8 | 3.8 |
| Rollo largo | Medido | m | 160 | 150 | 130 | 120 | 120 | 130 | 120 | 100 | 80 | 180 | 150 |
| Rollo área | Calculado | m ² | 560 · 608 · 640 | 525 · 570 · 600 | 455 · 494 · 520 | 420 · 456 · 480 | 420 · 456 · 480 | 455 · 494 · 520 | 420 · 456 · 480 | 350 · 380 · 400 | 280 · 304 · 320 | 684 | 570 |
| FUNCIÓN DEL GEOTEXTIL | NORMA | UNIDAD | NT 1600 | NT 1800 | NT 2000 | NT 2500 | NT 3000 | NT 4000 | NT 5000 | NT 6000 | NT 7000 | REPAV 400 | REPAV 450 |
| Filtración | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| Drenaje | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| Protección | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| Separación | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| Estabilización | | | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| Repavimentación | | | | | | | | | | | | ✓ | ✓ |

Fuente: PAVCO. (2012). Manual de diseño con geosintéticos. Ilustración. Recuperado el 5 de Octubre de 2016, de <http://www.geosoftpavco.com/manualvirtual/document.pdf>