

1.1. ANTECEDENTES

A comienzos del siglo pasado, en 1926 se ve el inicio de un proceso más sistemático de utilización de elementos para el mejoramiento de las condiciones del terreno. En Carolina del Sur (USA), fue donde se utilizó por vez primera para la ejecución de una carretera una capa gruesa de algodón cubierta por asfalto caliente con una capa delgada de arena sobre una base de tierra. Este experimento no se dio a conocer sino diez años después; demostrando su efectividad al observar que después de hecho ensayos de campo se había disminuido considerablemente el agrietamiento y las fallas en la carretera. A pesar de este aparente éxito, existió un factor que no pudo ser controlado, la descomposición de la tela. Es así como se da inicio a los GEOSINTÉTICOS, "GEO" por su aplicación directa a suelos y rocas "SINTÉTICOS", por ser fabricado exclusivamente de productos no naturales.

La utilización de los Geosintéticos en la Ingeniería Vial se ha visto incrementada en una forma sostenida en los últimos años. Estos productos presentan una serie de ventajas que son la principal causa del aumento del empleo de los mismos en todo el mundo. Entre estas ventajas cabe destacar: facilidad de puesta en obra, economía de producto, ahorros de tiempos de ejecución, posibilidad de soluciones medioambientales correctas, empleo de mano de obra no calificada y utilización de materiales de calidad verificable. (LEMaC, UTN La Plata – Argentina).

Por esta razón, estos materiales están tomando cada vez más protagonismo en la construcción de las vías de comunicación; ofrecen maleabilidad, variedad de usos y aplicaciones, calidad y resistencia a la degradación biológica y química. Este protagonismo no sólo se debe al aumento que este rubro representa en el presupuesto total de las obras, sino también a la importancia de las responsabilidades técnicas para las cuales son diseñados (LEMaC, UTN La Plata – Argentina).

A finales de la década de los sesenta, se comenzó a experimentar con los geotextiles en pavimentación y repavimentación. La tendencia mundial para reducir los costes de reparación de revestimientos asfálticos en vías de comunicación ha impulsado el desarrollo tecnológico introduciendo en ella la combinación de materiales geotextiles con productos de revestimiento asfáltico, dependiendo del tipo de geosintético variara su capacidad de retención de asfalto, el efecto del geotextil como refuerzo asfáltico es un mecanismo muy complejo en el sistema geotextil-asfalto y depende de los siguientes parámetros: tipo de tejido, tipo de mezcla asfáltica, impregnación, estructura de la superficie y ejecución en general.

La razón fundamental por la cual se prolonga la vida de la capa de rodadura con la utilización de geosintéticos, se le atribuye a la función impermeabilizante del geotextil No Tejido impregnado en ligante asfáltico, la que le confiere una considerable uniformidad en la unión entre capas y una elevada capacidad de resistir a la fatiga por flexión de la capa asfáltica superior, a su vez, limitan los daños causados por las fisuras durante el envejecimiento al cumplir la función de sellado. (LEMaC, UTN La Plata – Argentina).

Esta es quizás la aplicación de los geotextiles en donde se requiere llevar a cabo un estricto procedimiento de instalación para que realmente se obtengan los beneficios esperados.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Establecer un análisis del comportamiento de la retención y/o adherencia de asfaltos en los geotextiles No Tejidos nos llevará a elaborar métodos de la aplicación de criterios relacionados con la elección en el uso específico de un geotextil en obra. El uso de este método de ensayo es para establecer un valor índice para proveer criterios normalizados.

Si bien un geotextil No Tejido implica un aumento de costos en su utilización, también es necesario que se tenga en cuenta las propiedades de estos materiales ya que con los cuales se llegan a obtener muy buenos resultados a corto y largo plazo, por su excelente desempeño en la conservación y vida útil de una carretera.

El LEMaC, (UTN La Plata – Argentina) recomienda que al conocer la capacidad de adherencia del asfalto en geotextiles No Tejidos, garantizaría las funciones primordiales de la interfaz viscoelástica en la obra de repavimentación (Barrera impermeabilizadora y Membrana amortiguadora de esfuerzos), una cantidad insuficiente de ligante en obra podría causar que el geotextil no se sature totalmente, perdiéndose el efecto de impermeabilidad o puede que la adhesión entre el geotextil y la capa asfáltica no sea suficiente, originando tiempo después una superficie potencial de falla por deslizamiento. Una cantidad excesiva de ligante originará el problema de la exudación de asfalto.

Cabe hacer notar que hasta ahora no se han realizado estudios similares, por lo que dicho estudio brindaría una visión más amplia en el uso de geotextiles No Tejidos y más aún a la hora de determinar la adherencia de asfaltos en el mismo.

1.3. ANÁLISIS PROBLEMÁTICO

Muchas veces se han utilizado productos Geotextiles No Tejidos en tareas de pavimentación y repavimentación asfáltica. Dentro de estos materiales se pueden reconocer los diferentes tipos de geotextiles No Tejidos adecuados para ser embebidos en asfaltos; utilizados como barreras impermeabilizadoras y membranas amortiguadoras de esfuerzos.

Se entiende por retención de asfalto al volumen de cemento asfáltico retenido por el geotextil por unidad de área del espécimen después de su inmersión en cemento asfáltico. Dependiendo del tipo de geosintético variara su capacidad de retención de asfalto. La retención de asfalto es un procedimiento de ensayo para todo el ancho de la tela para pavimento. Innumerables veces se ha planteado el tema de la capacidad de adherencia entre los diferentes tipos de asfaltos con la variedad de tipos de geotextiles No Tejidos, generando así una posibilidad de variación en cuanto al comportamiento de adherencia.

Sin embargo, en el ámbito nacional, poco se sabe del tipo de comportamiento que presentaría la clase de geotextil No Tejido en adherencia con el tipo de asfalto.

Es por ello que se ha decidido orientar la investigación y la elaboración de la presente tesis a analizar cuál es el conjunto adherencia geotextil No Tejido/Asfalto más eficiente respecto a su comportamiento de retención.

1.4. OBJETIVOS

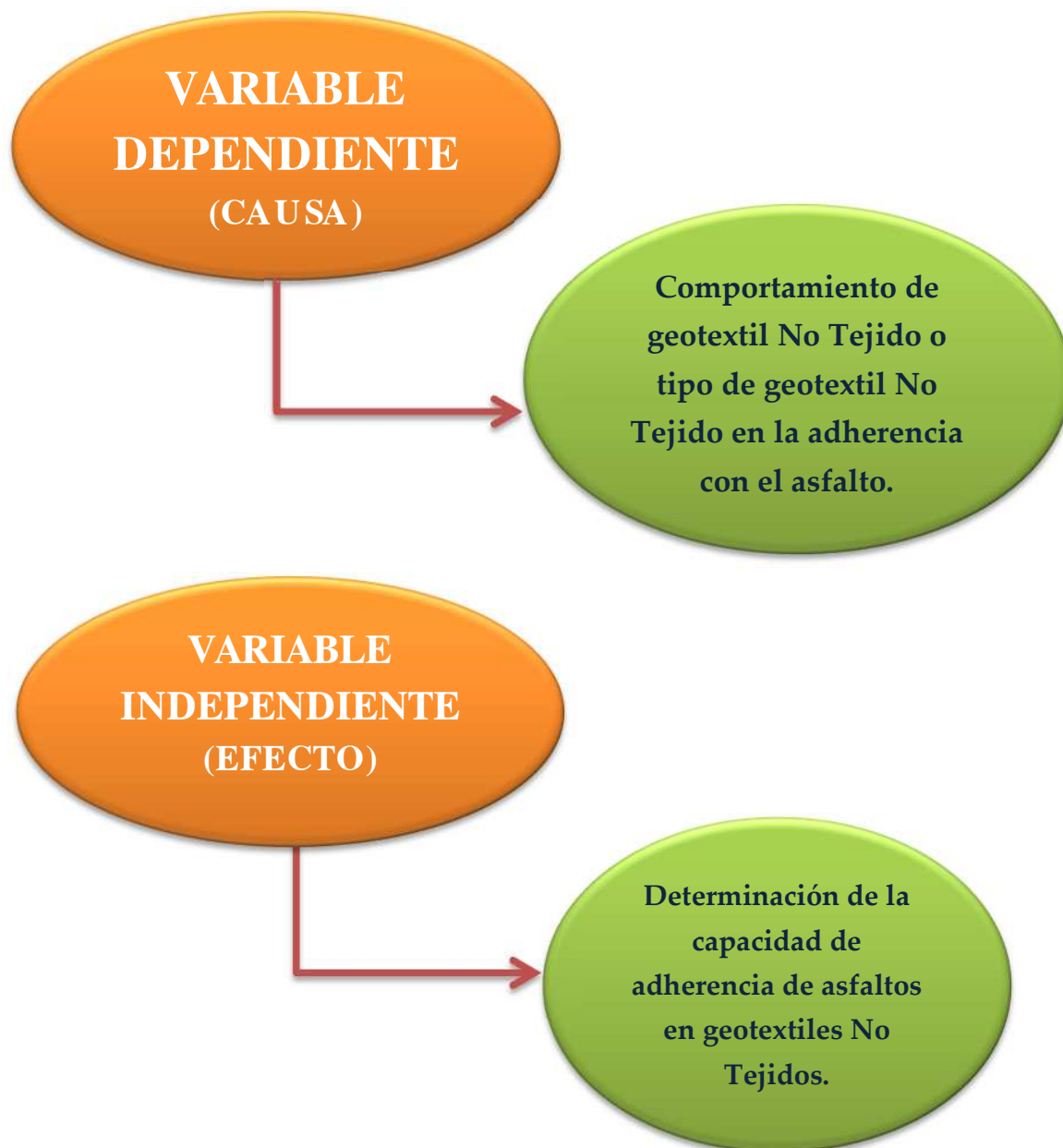
1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Realizar la evaluación de la capacidad de adherencia de asfaltos en geotextiles No Tejidos; empleando el método estándar para determinar la retención de asfalto de geotextiles usados en repavimentaciones asfálticas ASTM D-6140, INV E – 911, en el tramo Villa Montes - Tarairi.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Determinar que material geotextil No Tejido es apto para actuar como contenedor de asfalto de manera eficiente, en función del cálculo de sus propiedades físicas del geotextil; tales como el gramaje y la porosidad.
- ✓ Determinar la capacidad de las muestras de geotextiles No Tejido como contenedores de asfalto, realizando el ensayo de adherencia.
- ✓ Establecer el comportamiento de los asfaltos como adherentes, en las diversas muestras de geotextil No Tejido, realizando el ensayo de adherencia.
- ✓ Evaluar los resultados obtenidos, expresándolos en gráficas estadísticas, para su mejor comprensión e interpretación, identificando el conjunto adherencia geotextil/asfalto más eficiente desde el punto de vista del comportamiento de retención.
- ✓ Establecer conclusiones y recomendaciones.

1.5. VARIABLES



1.6. ALCANCE

En la actualidad, considerar una interfaz viscoelástica para evitar el reflejo de fisuras de una capa antigua de concreto asfáltico al nuevo recapado es de vital importancia para garantizar la vida útil de la vía; es decir una membrana viscoelastoplástica (geotextil embebido en asfalto), de la cual se debe tener muy en cuenta las propiedades físicas del geotextil (gramaje y porosidad) y la capacidad de adherencia del asfalto; para que al trabajar en conjunto brinden un desempeño eficiente en obra.

Una meta a conquistar es analizar qué tipo de geotextil No Tejido tiene las cualidades necesarias para comportarse como un eficiente contenedor de asfalto, esto mediante el cálculo de propiedades físicas del geotextil No Tejido como el gramaje y porosidad. Investigando de manera teórica de qué tipo de fibras sintéticas debe estar conformado el geotextil No Tejido.

De la misma manera se empleara asfaltos fluidificados en el ensayo de retención con el objeto de evaluar su capacidad de adherencia a las fibras sintéticas del geotextil No Tejido.

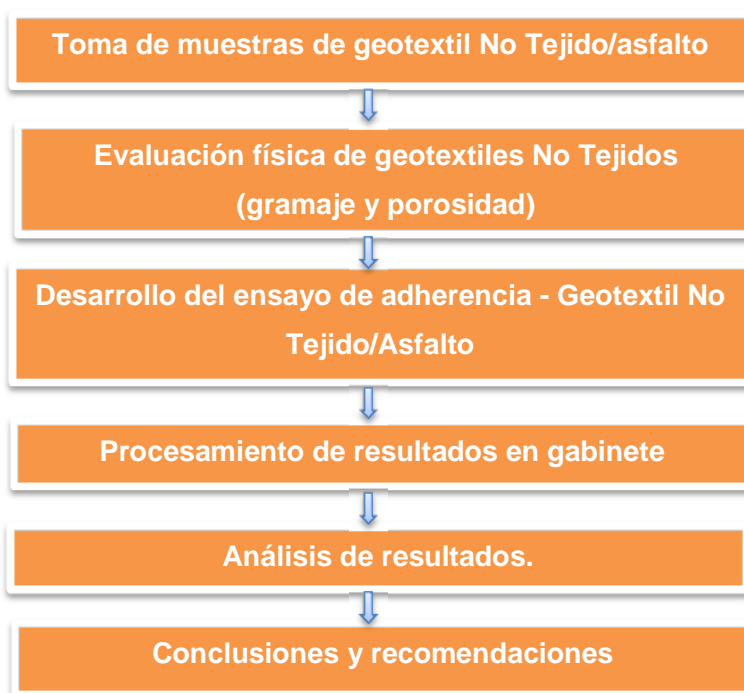
Llegando así a la aplicación práctica, realizándose ensayos de adherencia de asfaltos en geotextiles No Tejidos; determinando así cual será el conjunto adherencia geotextil/asfalto más eficiente desde el punto de vista de retención.

Con resultados en mano se procederá a expresarlos en gráficas estadísticas para su mejor comprensión e interpretación, planteando un análisis de los resultados que conllevaran a conclusiones y recomendaciones sobre la práctica.

1.7. MEDIOS

- Laboratorio de Asfaltos de la "Universidad Autónoma Juan Misael Saracho"; con el empleo de Horno Mecánico y Balanza Digital de precisión 0.1gr.
- Diferentes tipos de geotextiles (No Tejidos de fibras de Polipropileno).
- Asfaltos con los cuales se va desarrollar el ensayo.
- Muestreo de geotextil No Tejido y asfalto en la obra o tramo Villa Montes – Tarairi.

1.8. METODOLOGÍA



2.1. INTRODUCCIÓN

GEO: Prefijo griego que significa tierra/suelo, palabra ampliamente relacionada con la ingeniería y la geotecnia, que se refiere a los estudios sobre el comportamiento de los suelos.

SINTÉTICO: Son los productos fabricados por procedimientos industriales o por síntesis química, es decir no naturales.

GEOSINTÉTICO

La unión de las dos palabras define el significado de los geosintéticos, es decir productos desarrollados a partir de segmentos industriales (textiles, caucho, materiales plásticos, membranas bituminosas/polímeros y bentonita), para la transformación de polímeros básicos (polietileno, polipropileno, nylon, poliamidas, fibra de vidrio, polímeros altamente inertes a la degradación biológica y química) a su vez transformados para poder ser utilizados en el mejoramiento del comportamiento de los suelos y otros usos.

Los Geosintéticos comprenden productos manufacturados a partir de procedimientos principalmente de extrusión (geoplásticos), productos que incluyen en su fabricación tecnología textil (geotextiles) y productos formados por ambas tecnologías: textil y plástica. El término genérico Geosintético designa un producto en el que, por lo menos, uno de sus componentes es a base de polímero sintético o natural, y se presenta en forma de fieltro, manto, lámina o estructura tridimensional, usada en contacto con el suelo y con otros materiales dentro del campo de la geotecnia o de la ingeniería civil.

Es un material permeable con cinco funciones principales; separación, refuerzo, filtración, drenaje y protección; usado en contacto con el suelo dentro del campo de la geotecnia o de la ingeniería civil.

Las razones para la demanda de estos productos son numerosas e incluyen lo siguiente:

- Son fabricados bajo un estricto control de calidad.
- Ofrecen grandes rendimientos en la instalación.
- Minimizan el uso de materiales pétreos, lo que contribuye con unos menores impactos ambientales en las obras.
- Generan una relación beneficio – costo atractivo para los proyectos, que se ve reflejado en los presupuestos de los contratistas, entidades gubernamentales, etc.

En el mundo las aplicaciones primarias, están relacionados con los trabajos de filtración y drenaje, ferrocarriles, carreteras, refuerzos de terraplenes en suelos blandos, muros de contención, protección de taludes, almacenamiento de desechos, tratamientos y almacenamiento de aguas, rellenos sanitarios, etc.

2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS GEOSINTÉTICOS

2.2.1. GEOTEXTILES

Filtro o manto, cuyas funciones se basan en la capacidad de filtración y en sus altas resistencias mecánicas, siendo éstas: separar, filtrar, drenar, reforzar y proteger. Pueden fabricarse de diferentes formas y sus aplicaciones abarcan prácticamente todos los campos de la ingeniería civil en donde se esté en contacto con el terreno (*LEMaC: Centro de Investigaciones Viales, UTN Facultad Regional La Plata*).

Figura 2.1 (ROLLO DE GEOTEXTIL)



Fuente de la fotografía: Manual de Geotextiles – BASF THE CHEMICAL COMPANY

Los geotextiles se definen como “un material textil plano, permeable, polimérico (sintético o natural) que puede ser No Tejido, Tejido o tricotado y que se utiliza en

contacto con el suelo (tierra, piedras, etc.) u otros materiales en ingeniería civil para aplicaciones geotécnicas” (*Manual de Diseño con Geosintéticos – Geosoft_Pavco*)

❖ **CLASIFICACIÓN DE GEOTEXILES EN FUNCIÓN DEL MÉTODO DE FABRICACIÓN**

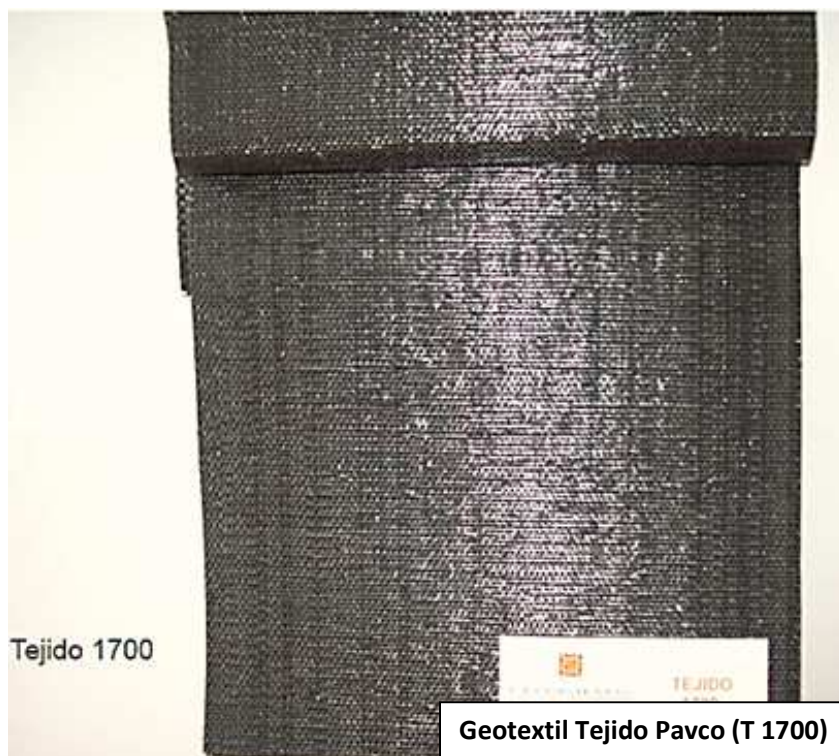
➤ **GEOTEXILES TEJIDOS**

Son estructuras planas y regulares producidas a través del entrelazamiento, generalmente en ángulos rectos, de dos o más juegos de hilos en dos direcciones preferenciales, que constituyen así los hilos de urdidura (paralelos al sentido de producción) y los hilos de la trama (perpendiculares a los hilos de urdidura), pueden ser Tejidos de calada o tricotados (*Manual de Diseño con Geosintéticos – Geosoft_Pavco*).

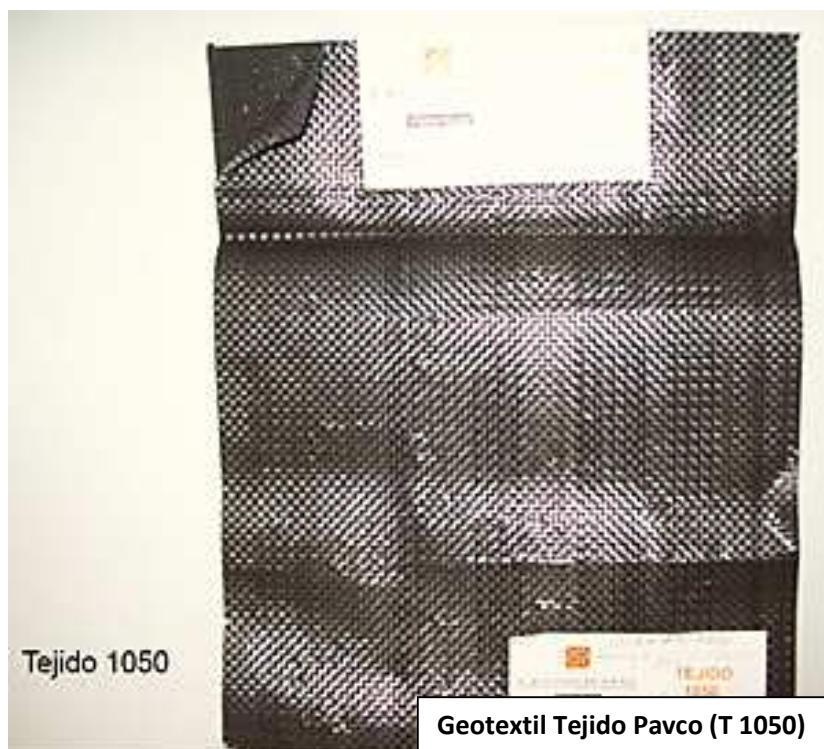
Los Tejidos de calada son los formados por cintas de urdimbre (sentido longitudinal) y de trama (sentido transversal). Los tricotados están fabricados con hilo entrecruzado en máquinas de tejido de punto (*Manual de Diseño con Geosintéticos – Geosoft_Pavco*).

Su resistencia a la tracción puede ser multiaxial o biaxial según estén fabricados en máquinas tricotosas y circulares, o Ketten y Raschel. Su estructura es tridimensional (*Manual de Diseño con Geosintéticos – Geosoft_Pavco*).

Figura 2.2 (GEOTEXTILES TEJIDOS)







Fuente de las fotografías: Manual de Geotextiles Pavco (Colombia)

➤ **GEOTEXTILES NO TEJIDOS**

Están formados por fibras o filamentos superpuestos en forma laminar, consolidándose esta estructura por distintos sistemas según cual sea el sistema empleado para unir los filamentos o fibras. (*Manual de Diseño con Geosintéticos – Geosoft_Pavco*)

Los geotextiles fabricados por este proceso tienen buenas características mecánicas manteniendo un espesor uniforme, el cual les confiere mayor estructura tridimensional, gran elongación (pueden estirarse desde un 40% hasta un 120% o más, antes de entrar en carga de rotura) lo que les proporciona muy buena adaptación a las irregularidades de los terrenos, unas excelentes propiedades para protección, (suele denominarse efecto colchón) y muy buenas funciones de filtración y separación.

Los geotextiles No Tejidos se clasifican a su vez en:

○ **GEOTEXTILES NO TEJIDOS LIGADOS MECÁNICAMENTE O PUNZONADOS POR AGUJAS**

Se forman a partir de un entrelazado de fibras o filamentos mezclados aleatoriamente, conformando lo que se denomina como velo o napa, el cual se consolida al pasar por un tablero de agujas en la máquina punzonadora, dichas agujas se mueven en sentido alternativo, subiendo y bajando a altas velocidades penetrando en la napa y entrelazando las fibras, esto se obtiene por que el perfil de las agujas no es regular, si no que están provistas de unas espigas o salientes en dirección a su sentido de penetración, lo cual hace penetrar a las fibras sin llevárselas en su movimiento de retroceso. la frecuencia de golpes o penetraciones de las agujas va consolidando el geotextil no tejido. Los geotextiles fabricados por este proceso tienen buenas

características mecánicas manteniendo en parte el espesor de la napa el cual les confiere mayor estructura tridimensional, gran elongación (pueden estirarse desde un 40% hasta un 120% o más, antes de entrar en carga de rotura) lo que les proporciona muy buena adaptabilidad a las desuniformidades de los terrenos, unas excelentes propiedades para protección, (suele denominarse efecto colchón) y muy buenas funciones de filtración y separación.

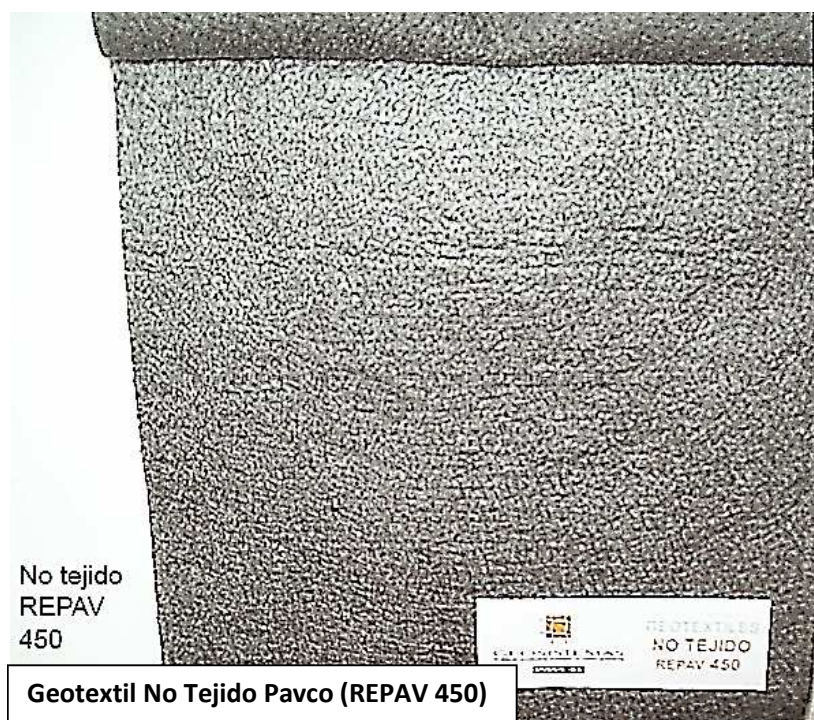
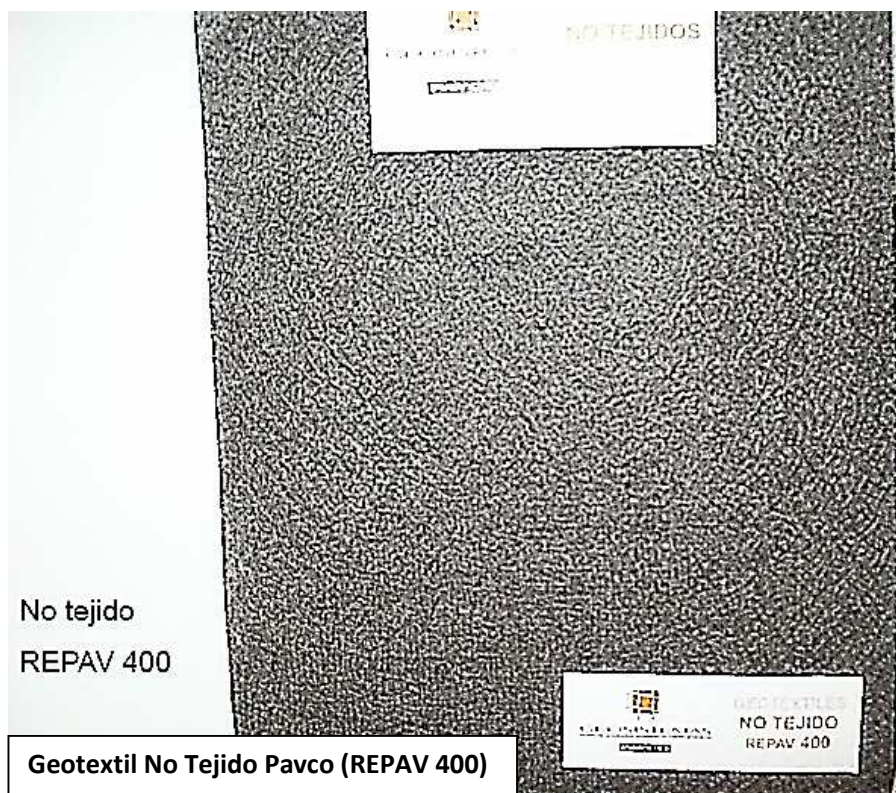
- **GEOTEXILES NO TEJIDOS LIGADOS TÉRMICAMENTE O TERMOSOLDADOS**

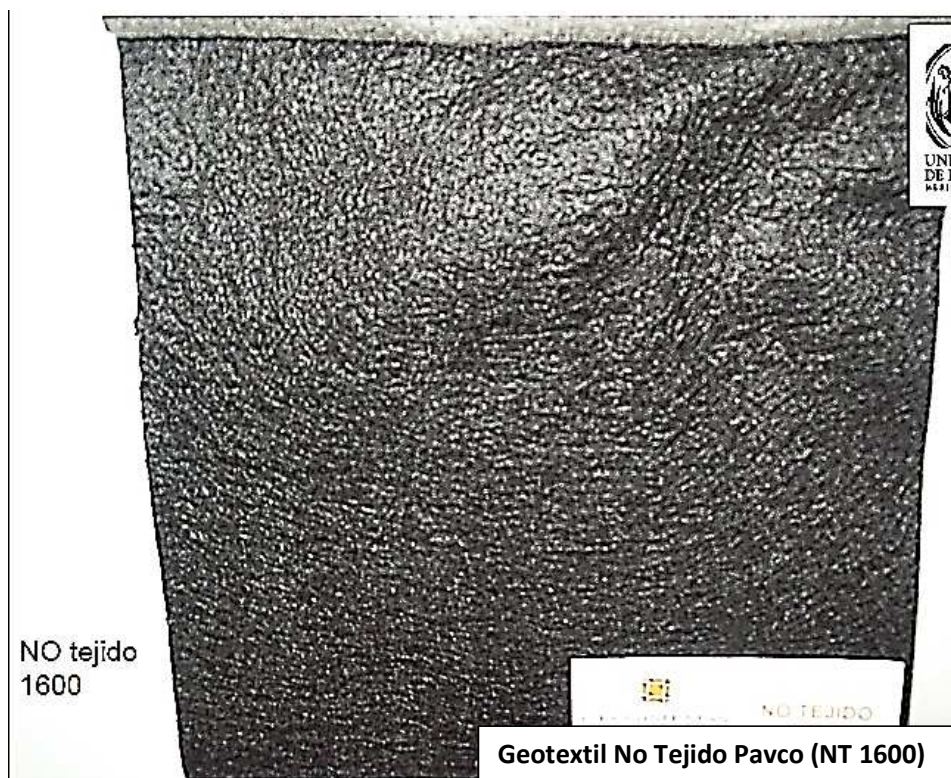
Se forman a partir de una napa o velo en la que la unión de fibras y consolidación del geotextil se logra por fusión de las fibras y soldadura en los puntos de intersección mediante un calandrado a temperatura elevada. su espesor y su elongación son sensiblemente inferiores a la de los agujados, por lo cual su transmisividad y permeabilidad son menores, tienen buenas propiedades mecánicas y poca flexibilidad (son algo rígidos).

- **GEOTEXILES NO TEJIDOS LIGADOS QUÍMICAMENTE O RESINADOS**

La unión entre sus filamentos se consigue incorporando ligantes químicos o resinas. este sistema no se utiliza para la fabricación de geotextiles de protección y separación, puesto que en su composición (de los de protección) deben de evitarse elementos químicos distintos a los polímeros que pudiesen alterar sus propiedades y provoquen incompatibilidades químicas con otros materiales con los que pudiese estar en contacto. su empleo está muy poco extendido debido a su elevado costo.

Figura 2.3 (GEOTEXTILES NO TEJIDOS)







No tejido 2000

Geotextil No Tejido Pavco (NT 2000)



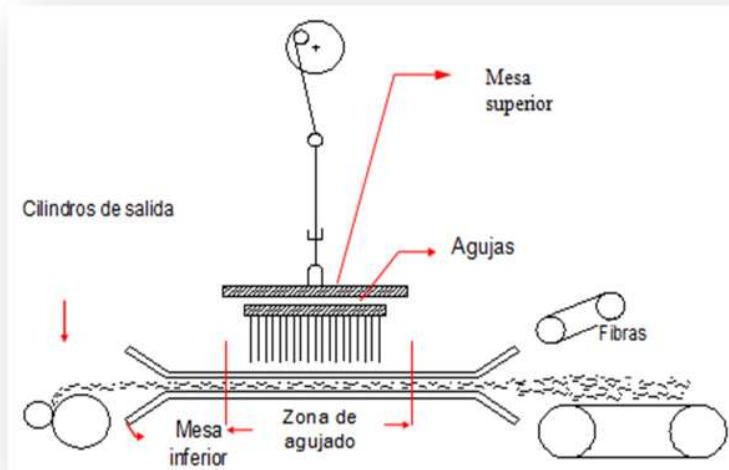
No tejido 3000

Geotextil No Tejido Pavco (NT 3000)



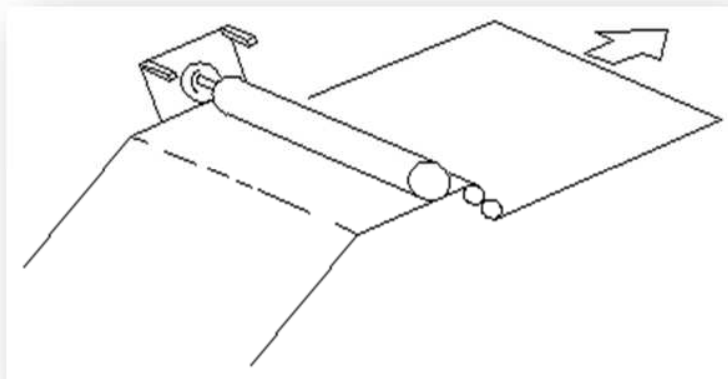
Fuente de las fotografías: Manual de Geotextiles Pavco (Colombia)

Figura 2.4 (PROCESOS DE FABRICACIÓN DE GEOTEXTILES)



Proceso Mecánico:

Entrelazamiento de fibras o filamentos por medio de agujas dentadas (agujados).



Proceso Térmico:

Ligamiento de las fibras o filamentos a través de la fusión parcial por calentamiento (termofijación).



Proceso Químico:

Ligamiento de las fibras o filamentos por medio de productos químicos (resinas).

(Manual de Diseño con Geosintéticos – Geosoft_Pavco)

❖ CLASIFICACIÓN DE GEOTEXILES POR SU COMPOSICIÓN

Las fibras que más se emplean son las sintéticas, siendo por ello que siempre tendemos a asociar al geotextil con fibras o filamentos sintéticos. Sin embargo al existir gran diversidad de aplicaciones, también se fabrican con fibras naturales y artificiales.

- **Fibras naturales.-** Pueden ser de origen animal (lana, seda, pelos...) vegetal (algodón, yute, coco, lino...) que se utilizan para la fabricación de geotextiles biodegradables utilizados en la revegetación de taludes, por ejemplo, en márgenes de ríos etc.
- **Fibras artificiales.-** Son las derivadas de la celulosa. Son el rayón, la viscosa y el acetato.
- **Fibras sintéticas.-** Cuando al geotextil se le exige durabilidad, se fabrica con fibras o filamentos obtenidos de polímeros sintéticos.

Los geotextiles fabricados con estos polímeros son de gran durabilidad y resistentes a los ataques de microorganismos y bacterias.

Los más empleados son el polipropileno, poliéster, polietileno, poliamida y poliacrílico.

2.2.2. GEOMEMBRANAS

Las geomembranas son láminas de impermeabilización, cuya función principal es evitar el paso de líquidos y se emplean en sistemas de impermeabilización tales como: túneles, rellenos sanitarios, depósitos, almacenamiento de agua o cubiertas planas de edificación. Estas pueden ser de PVC, HDPE, Polipropileno, asfálticas, etc (*LEMaC: Centro de Investigaciones Viales, UTN Facultad Regional La Plata*).

Son membranas de permeabilidad muy baja, prácticamente impermeables, que pueden ser de plastómeros, elastómeros (sintéticos) o bituminosas.

Figura 2.5 (GEOMEMBRANAS MACLINE)





Fuente de las fotografías: Manual de Geosintéticos – Bianchi Ingeniero.

❖ GEOMEMBRANAS SINTÉTICAS

Son llamadas geomembranas sintéticas el grupo formado por los tipos plastoméricos y elastoméricos.

➤ GEOMEMBRANAS PLASTOMÉRICAS

Son láminas producidas por la industria plástica con espesor entre 0,5 y 2,5mm, fabricadas con diferentes métodos productivos (calandrado, extrusión y dispersión) y caracterizadas por un coeficiente de permeabilidad muy reducido.

Calandrado: Producidas a través de una mezcla constituida por el polímero termoplástico y una serie de aditivos con funciones específicas, reducidas al espesor deseado por la acción de rollos calentados, obteniendo así láminas planas con ancho variable.

Extrusión: Fabricadas a través de una mezcla formada por el polímero termoplástico y una serie de aditivos con funciones específicas, son derretidas y empujadas a presión en una matriz de extrusión circular, hasta generar una lámina tubular que es hinchada con aire comprimido (a presión), enfriada, cortada y abierta, obteniéndose una lámina plana con ancho variable.

Dispersión: Producidas a través de una mezcla constituida por PVC (en estado plástico) y por una serie de aditivos (básicamente plastificantes). La mezcla es dispersa en frío y en seguida llevada a fusión, obteniendo así una lámina plana con ancho variable.

➤ **GEOMEMBRANAS ELASTOMÉRICAS**

Son láminas con espesor entre 0,5 y 2 mm caracterizadas por coeficientes de permeabilidad bastante reducidos, fabricados por la industria de la goma en dos fases; en la primera fase, se produce una pasta homogénea constituida por el polímero vulcanizado (goma cruda) y varios aditivos con funciones específicas.

En la segunda fase (calandrado), la mezcla homogénea es trabajada por la acción de rollos calentados, es vulcanizada y reducida al espesor deseado, obteniendo así una lámina plana con ancho variable.

❖ **GEOMEMBRANAS BITUMINOSAS**

Son láminas con espesor entre 3 y 6mm, fabricadas a partir de una mezcla fundida, constituida por asfaltos, polímeros, plastoméricos y/o elastoméricos y cargas minerales, son también caracterizadas por coeficientes de permeabilidad muy reducidos.

Son constituidas por un soporte (geotextil tejido o no tejido de poliéster o fibra de vidrio) que por un proceso continuo es inmerso en la mezcla fundida y, después de absorberla o quedar envuelto por esta, en seguida es enfriado.

Las geomembranas bituminosas pueden ser fabricadas en industrias o in situ, en este caso se emplea un geotextil (tejido o no tejido) impregnándolo con asfalto (eventualmente modificado con elastómeros) en ambos lados.

Figura 2.6 (GEOMEMBRANAS ASFALTICA MEGAFLEX)



Fuente de las fotografías: Manual MegaFlex y elaboración propia.

2.2.3. PRODUCTOS RELACIONADOS

Son aquellos que por sí solos o adosados a un geotextil cumplen funciones tales como: refuerzo, drenaje en el plano, control de erosión, etc. Dentro de ellos se encuentran: Geomallas, Geored, Geoceldas y Geomantas (*LEMaC: Centro de Investigaciones Viales, UTN Facultad Regional La Plata*).

❖ GEOMALLAS O GEOGRILLAS

Las geomallas son geosintéticos constituidos por un conjunto de costillas paralelas conectadas y con aberturas, para permitir la trabazón del suelo o piedra, cuya función principal es la de refuerzo. Son estructuras planas formadas por una red rectangular (malla) de elementos conectados integralmente, que pueden ser fijados por extrusión, adhesión o entrelazamiento, cuyas aberturas son mayores que sus componentes, son utilizadas en aplicaciones de ingeniería y geotecnia.

Dentro de las geomallas pueden ser distinguidos los siguientes tipos; geomallas extruidas, geomallas tejidas, geomallas por adhesión o sobreposición de fibras.

➤ GEOMALLAS EXTRUIDAS

Son estructuras planas fabricadas de materiales poliméricos a través de un proceso de extrusión y un sucesivo estiramiento, que puede ser en una sola dirección (unidireccional, uní axial, monodireccional, caracterizadas por una resistencia a la tracción en el sentido longitudinal entre 60 y 200 KN/m) o en las dos direcciones principales (bidireccional, biaxial, biorientada, caracterizadas por una resistencia menor, prácticamente igual en los dos sentidos en un rango de 20 a 30 KN/m).

Figura 2.7 (GEOMALLAS EXTRUIDAS)




Fuente: (*Manual de Diseño con Geosinteticos – Geosoft_Pavco*).

➤ GEOMALLAS TEJIDAS

Son estructuras planas en forma de red, fabricadas a través del entrelazamiento (en ángulos rectos) de fibras sintéticas con un elevado módulo de resistencia generalmente recubierta por una camada protectora, también en un material sintético (generalmente PVC).

Figura 2.8 (GEOMALLAS TEJIDAS)



Geomallas MacGrid® WG,
con la garantía de
calidad de la marca 

Las Geomallas MacGrid® WG han superado los ensayos físicos y químicos necesarios para obtener el certificado de calidad CE.

Las geomallas Paragrid[®] y ParaLink[®] presentan una amplia gama de resistencias longitudinales que llegan hasta los 1.350 kN/m. Sus principales campos de empleo son: como refuerzo de terraplenes, en aplicaciones de tierra reforzada usando suelos con matriz granular y en combinación con las estructuras TRESMA[®] cuando la altura del muro ($h > 8m$) no permite la utilización de TRESMA[®] como único refuerzo.



Fuente de las fotografías: Manual de Geosintéticos – Bianchi Ingeniero.

➤ **GEOMALLAS POR ADHESIÓN O SOBRE POSICIÓN DE FIBRAS**

Son estructuras planas producidas por la sobreposición y la sucesiva soldadura (adhesión), generalmente en ángulos rectos de las “geocintas” formadas por un núcleo en poliéster de alta resistencia revestido por una camada de protección en polipropileno. Ese tipo de geomalla es la más resistente a la tracción longitudinal alcanzando los 1200 KN/m.

Figura 2.9 (GEOMALLAS POR ADHESION O SOBRE POSICIÓN DE FIBRAS)



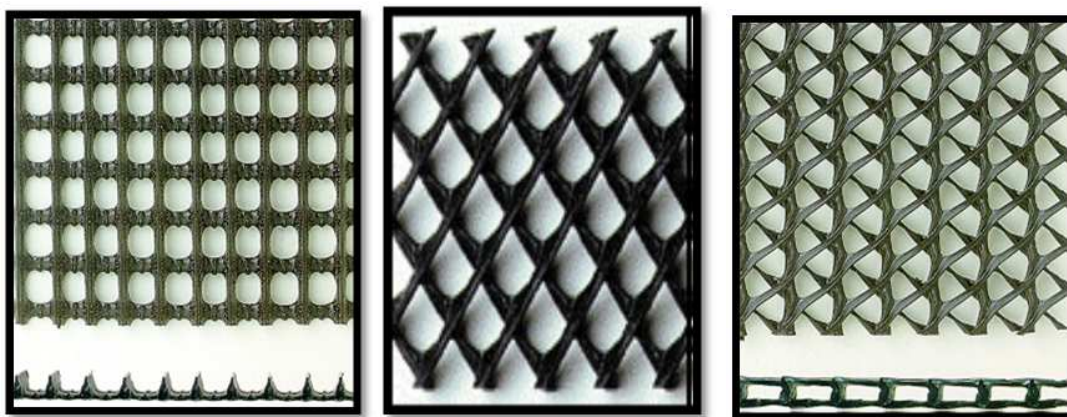
Fuente de las fotografías: Manual de Geosintéticos – Bianchi Ingeniero.

❖ GEOREDES

Estructura tridimensional permeable constituida de filamentos, fibras y/u otros elementos (sintéticos o naturales) a base de polímeros, ligados por medios mecánicos, térmicos o químicos y/o por cualquier otro medio, es usada en contacto con el suelo o con otros materiales, por ejemplo, para mantener partículas, raíces y pequeñas plantas en el suelo (*LEMaC: Centro de Investigaciones Viales, UTN Facultad Regional La Plata*).

La soldadura de las dos series de hilos es obtenida por la penetración parcial en los puntos de contacto, con el polímero aún en estado semi-fluido.

Figura 2.10 (GEOREDES)



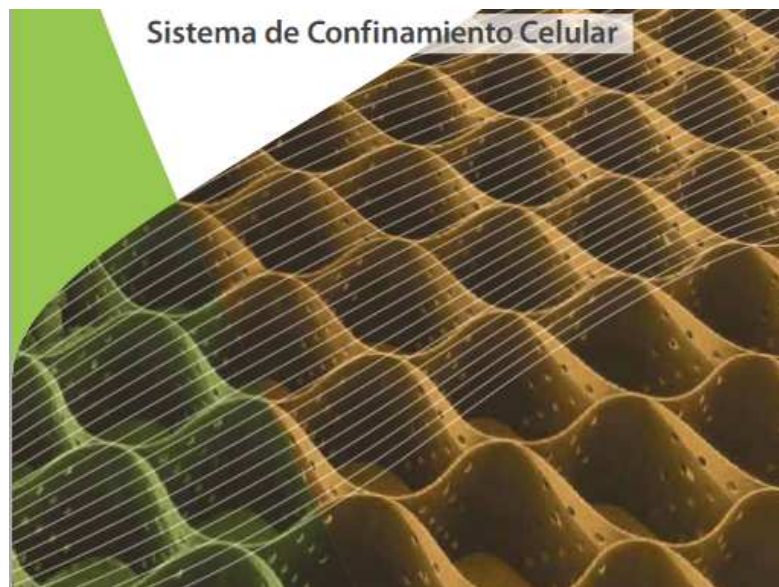
Fuente: (*LEMaC: Centro de Investigaciones Viales, UTN Facultad Regional La Plata*).

Las georedes generalmente son utilizadas en conjunto con geotextiles como filtros y/o geomembranas como elementos de retención, ejerciendo la función de drenaje, o sea, transporte planar de fluidos a lo largo de su propia estructura, con una óptima resistencia a los esfuerzos de compresión.

❖ GEOCELDAS O GEOCELULAS

Estructura tridimensional permeable a base de polímeros (sintéticos o naturales), con forma de matriz de celdas huecas, constituida por bandas de geotextiles o geomembranas ligadas alternativamente y usada en contacto con el suelo o con otros materiales.

Figura 2.11 (GEOCELDA)



Fuente: (Manual Geoweb de Pavco).

❖ GEOMANTAS

Estructura plana a base de polímeros (naturales o sintéticos) constituida por una red densa y regular cuyos elementos están ligados por nudos o por procesos térmicos, y cuyas aberturas tienen dimensiones superiores a las de sus constituyentes, usadas en contacto con el suelo o con otros materiales.

Las geomantas pueden ser aplicadas sobre pendientes suaves y pronunciadas, mejorando la resistencia a la erosión provocada por el impacto de las gotas de lluvia y por el flujo del agua superficial, garantizando un refuerzo superficial del suelo durante el crecimiento de la vegetación.

Figura 2.12 (GEOMANTAS MACMAT DE MACCAFERRI)





Fuente Propia: (*Proyecto Protección de Talud contra erosión superficial - mirador Moto Méndez - Tarija*).

2.2.4. GEOSINTÉTICO BENTONÍTICO

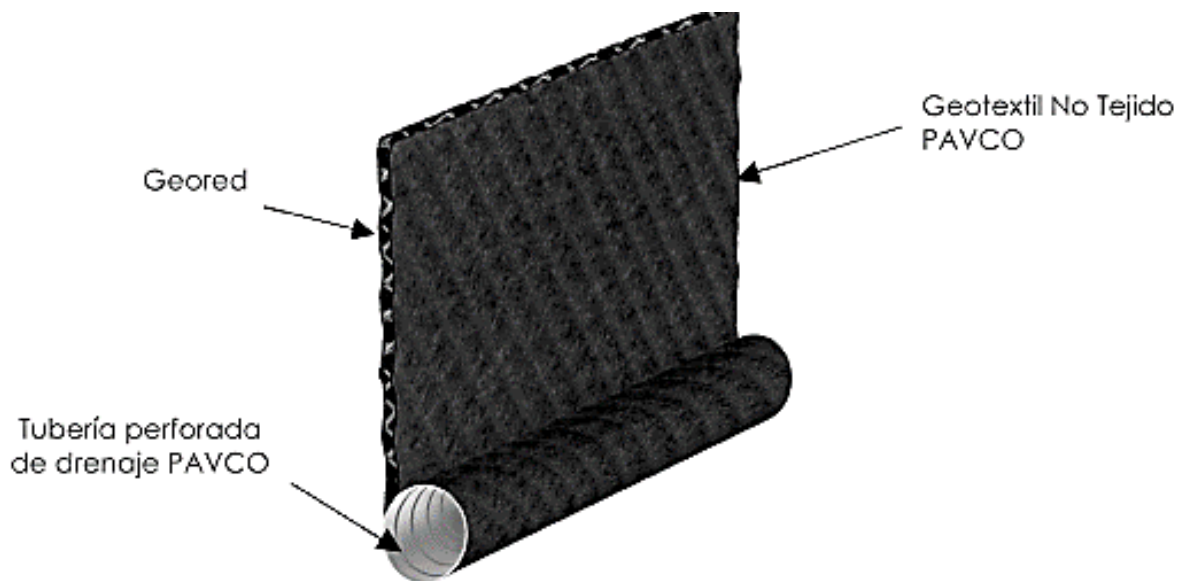
Estructura ensamblada en fábrica, constituida de materiales sintéticos y materiales bentoníticos de baja conductividad hidráulica (por ejemplo bentonita) que se presenta en forma de lámina, usada en contacto con el suelo y/u otros materiales. Su constitución es tipo sándwich con un material bentonítico entre dos geotextiles o un geotextil y una geomembrana. Se mantiene su integridad estructural mediante el agujado, cosido o ligado con adhesivo. Se lo utiliza solo o en conjunto con una geomembrana como barrera hidráulica.

2.2.5. GEOCOMPUESTOS

Es un ensamblado manufacturado de materiales, de los cuales al menos uno de los componentes es un producto Geosintético, usado en contacto con el suelo o con otros materiales.

Los geocompuestos consisten en una combinación de geotextiles y georedes; geogrillas y geomembranas; o geotextiles, geogrilla, y geomembrana; o alguno de estos cuatro Geosintéticos con otro material. Las áreas de aplicación son numerosas, entre las que se encuentran: separación, refuerzo, filtración, drenaje y barrera de vapor.

Figura 2.13 (GEOCOMPUESTO – GEODREN CIRCULAR PAVCO)



Fuente: (*Manual de Diseño con Geosintéticos – Geosoft_Pavco*).

2.3. FUNCIONES DE LOS GEOSINTÉTICOS

Los materiales geosintéticos realizan cinco funciones principales: separación, refuerzo, filtración, drenaje y protección (LEMaC: Centro de Investigaciones Viales, UTN Facultad Regional La Plata).

Al mencionar función del material nos referimos al papel específico que realiza un geosintético en una estructura de suelo/geosintético. Es una tarea o capacidad específica que se espera que el producto realice durante la totalidad del proyecto o la instalación (LEMaC: Centro de Investigaciones Viales, UTN Facultad Regional La Plata).

Un geosintético puede desempeñar más de una función al mismo tiempo para una aplicación dada. Típicamente, se determina que una función es más importante y se considera la función primordial del geosintético, con cualquier otra función concurrente considerada como secundaria (LEMaC: Centro de Investigaciones Viales, UTN Facultad Regional La Plata).

Cuadro 2.1 (FUNCIONES DE LOS GEOSINTÉTICOS EN APLICACIÓN)

	Geotextiles	Geocompuestos	Geomembranas	Geomallas
Separación	X			
Filtración	X	X		
Refuerzo	X			X
Drenaje	X ⁽¹⁾	X		
Protección	X			
Barrera	X ⁽²⁾		X	

(1) En ciertas aplicaciones de rellenos sanitarios.

(2) Cuando está saturada con una capa ligante.

FUENTE: (LEMaC: Centro de Investigaciones Viales, UTN Facultad Regional La Plata).

Cada una de estas funciones puede estar definida en términos del papel que este desempeñe durante la instalación. A continuación se presenta una definición y descripción de cada una de las funciones mostradas en la tabla anterior.

Cuadro 2.2 (FUNCIONES DE LOS GEOSINTÉTICOS EN OBRA)

Campos de Aplicación	FUNCIONES DEL GEOSINTÉTICO					
	Separación	Filtración	Refuerzo	Drenaje	Protección	Barrera
Caminos	X	XX	XX	XX		
Reasfaltado			XX			X
Construcciones Ferroviarias	X	X				
Construcciones Hidráulicas	XX	X				
Drenajes	XX	X		XX		
Campos Deportivos	X	X				
Terraplenes	X	XX	XX	XX		
Drenes Verticales		X		X		
Muros de Contención			X	XX		
Túneles				X	X	
Depósitos de Líquidos y Desechos			XX	XX	X	

X : Función principal

XX: Función Secundaria

FUENTE: (LEMaC: Centro de Investigaciones Viales, UTN Facultad Regional La Plata).

2.3.1. FUNCIONES DE LOS GEOSINTÉTICOS COMO MATERIAL DE APLICACIÓN

❖ SEPARACIÓN

Los geosintéticos actúan para separar dos capas de suelo que tienen diferentes distribuciones de partículas. Por ejemplo, los geotextiles son usados para prevenir que materiales de base penetren en suelos blandos de estratos subyacentes (subrasante) reduciendo su capacidad portante, manteniendo la espesura de diseño y la integridad de la vía. Separadores ayudan también en la prevención del acarreamiento de granos

finos de la subrazante en dirección de estratos granulares permeables perjudicando su capacidad de drenaje (*La Sociedad Internacional de Geosintéticos - Richard J. Bathurst*).

Figura 2.14 (GEOSINTÉTICO COMO SEPARADOR ENTRE CAPAS)



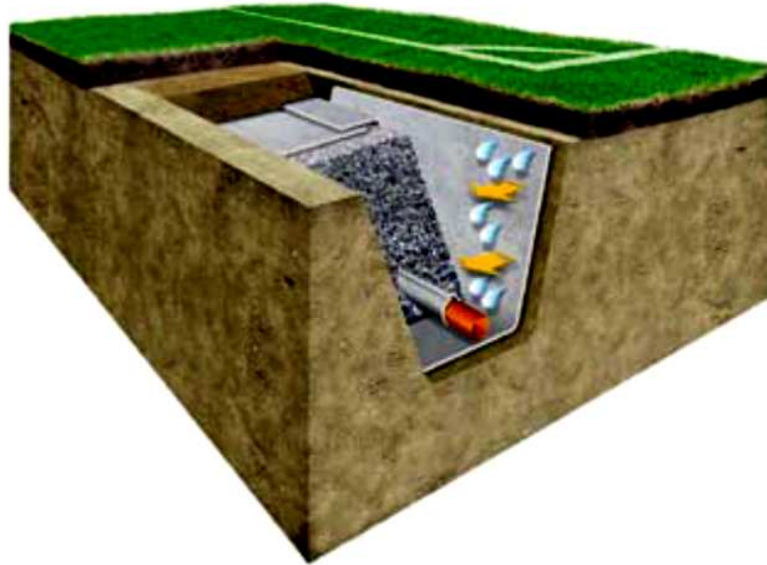
FUENTE: (*Manual de geotextiles FIBERTEX*).

❖ FILTRACIÓN

La función de filtración tiene dos objetivos concurrentes. Estos son el retener las partículas del suelo filtrado mientras permite el paso del agua a través del plano del geosintético proveniente del suelo filtrado. Estas dos funciones paralelas son la clave para el diseño de filtración.

Es probable que en la mayoría de las aplicaciones, particularmente en aquellas que involucran suelos con partículas finas, en esta masa filtrante es donde se lleve a cabo la filtración de las partículas del suelo.

Figura 2.15 (GEOSINTÉTICO COMO FILTRO)



FUENTE: (Manual de geotextiles FIBERTEX).

En ambas funciones, filtración y separación, el agua pasa a través del geosintético.

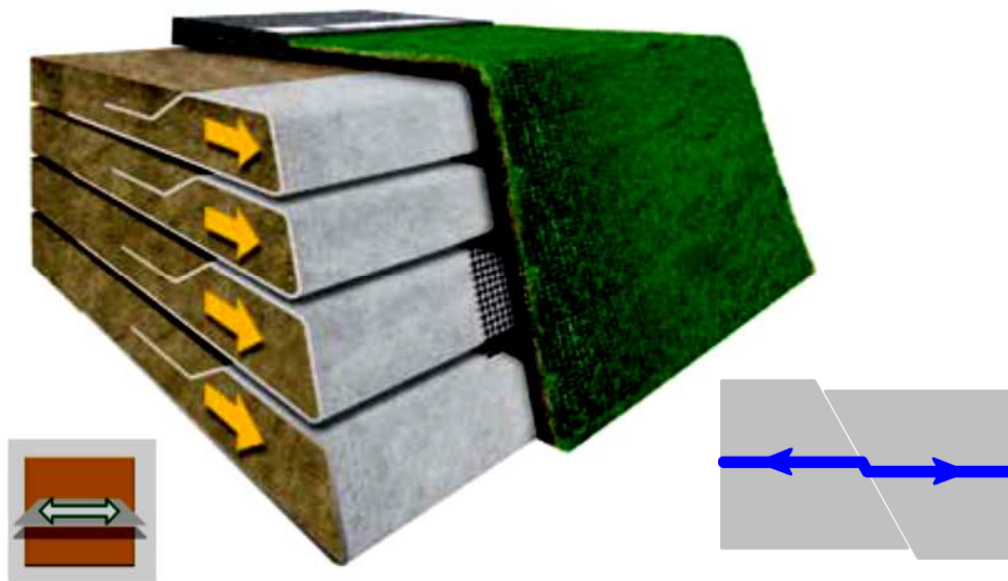
Una distinción puede ser trazada entre las dos con respecto a la cantidad de agua involucrada y al grado en el que esto influye en la selección del geosintético. En la función de filtración, el volumen de agua que pasa a través de la tela es un elemento clave de diseño específicamente señalado en la selección y diseño del geosintético. Para la función de filtración, el geosintético debe ser capaz de transportar cierta cantidad de agua a través del plano de la tela durante la vida útil para prevenir la acumulación de presiones de agua. Esto típicamente no es el caso con un geosintético de separación. Aunque el agua puede que pase en cualquier dirección a través del plano de la tela de separación, esto no es típicamente un elemento de diseño, ya que las cantidades de agua son relativamente pequeñas, aún en casos de aguas profundas y subrasantes saturadas.

❖ REFORZAMIENTO

En esta función se aprovecha el comportamiento a tracción del geotextil para trabajar como complemento de las propiedades mecánicas del suelo, con el fin de controlar los esfuerzos transmitidos tanto en la fase de construcción como en la de servicio de las estructuras.

El geotextil actúa como un elemento estructural y de confinamiento de los granos del suelo, permitiendo difundir y repartir las tensiones locales. estas acciones aumentan la capacidad portante y la estabilidad de la construcción.

Figura 2.16 (GEOSINTÉTICO APLICADO EN REFORZAMIENTO)



FUENTE: (Manual de geotextiles FIBERTEX).

❖ DRENAJE

En la función de transmisión o drenaje, los líquidos o gases son transportados (o drenados) dentro del plano del geosintético. Esto es diferente a la función de filtración que involucra el flujo a través del plano del geosintético. Esta función es comúnmente asociada con compuestos geosintéticos particularmente aquellos que incorporan una red de drenaje o un núcleo permeable unido en uno a ambos lados a un geosintético.

Figura 2.17 (GEOSINTÉTICO APLICADO EN TRANSMISIÓN)



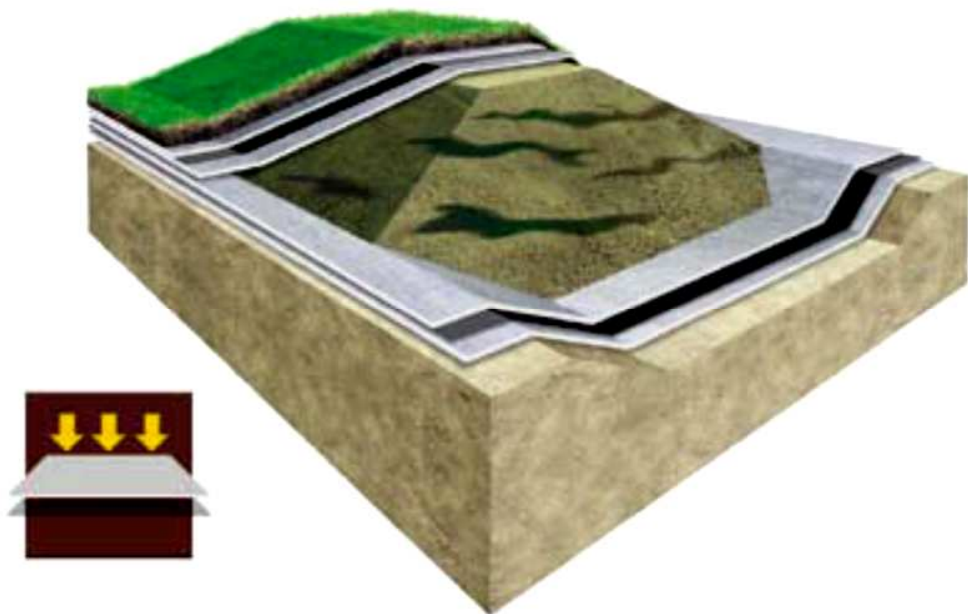
FUENTE: (Manual de geotextiles FIBERTEX).

❖ PROTECCIÓN

La función de protección se refiere al uso de un geosintético para proteger otro componente dentro de una aplicación completa.

La función de protección típicamente se refiere al uso de un geotextil para proteger una geomembrana de ser dañada por partículas de rocas, escombros u otros materiales. Esta función es comúnmente usada en las aplicaciones de rellenos sanitarios.

Figura 2.18 (GEOSINTÉTICO APLICADO EN PROTECCIÓN)



Fuente: (*Manual de geotextiles FIBERTEX*)

2.4. FUNCIONES ESPECIALES DEL GEOSINTÉTICO SATURADO EN ASFALTO EN PAVIMENTACIÓN Y REPAVIMENTACIÓN

❖ PAVIMENTACIÓN

En lo que hace a la pavimentación los geotextiles, tanto Tejidos como No tejidos, cumplen las funciones de separación, estabilización, refuerzo y drenaje. El uso de un geotextil en la subrasante, evita que el agregado de la capa superior se mezcle con la misma y que el bombeo de los finos de las subrasantes débiles surja hacia la capa de agregado. De esta manera se mantiene el espesor original de las capas del camino, que de otra manera, destruiría el apoyo del mismo, reduciendo su vida útil. Así mismo el uso de refuerzos geosintéticos permite una significativa reducción en la base granular y evita eventuales deformaciones que puedan perjudicar el desempeño del pavimento. Estos factores contribuyen a una considerable reducción de costos en la ejecución y manutención de la vía, siendo esta pavimentada o no (*LEMaC: Centro de Investigaciones Viales, UTN Facultad Regional La Plata*).

❖ REPAVIMENTACIÓN

En el caso de la repavimentación asfáltica, dentro de los mecanismos que ocasionan la aparición y el incremento de fisuras, se destaca el fenómeno de "reflejo de fisuras", es decir la aparición del agrietamiento de la superficie antigua sobre la nueva capa (*LEMaC: Centro de Investigaciones Viales, UTN Facultad Regional La Plata*).

El origen de dicho fenómeno es diverso, entre sus causas principales se tienen: la fatiga ocasionada por la repetición de las cargas de tránsito; la retracción impedida; los movimientos de las capas inferiores del pavimento y los defectos de tipo constructivo (*LEMaC: Centro de Investigaciones Viales, UTN Facultad Regional La Plata*).

Para el caso en que la causa se deba a la fatiga, una de las soluciones aconsejadas para retardar la aparición de fisuras es la interposición de una interfase viscoelástica, S.A.M.I. (Stress Absorbing Membrane Interlayer). Dentro de ellas, la más difundida por su economía y practicidad, es la constituida por un geotextil embebido en asfalto entre la superficie fisurada y las nuevas capas de pavimento. Estas intercapas prevendrán y reducirán el calcado de fisuras, la aparición de fisuras del tipo de piel de cocodrilo y los fenómenos de ahuellamiento y corrugamiento (*LEMaC: Centro de Investigaciones Viales, UTN Facultad Regional La Plata*).

Se entiende por retención de asfalto al volumen de cemento asfáltico retenido por el geosintético por unidad de área de la probeta después de inmersión en cemento asfáltico (*LEMaC: Centro de Investigaciones Viales, UTN Facultad Regional La Plata*).

Figura 2.19 (GEOTEXTIL ANTES Y DESPUÉS DEL ENSAYO DE ADHERENCIA CON ASFALTO)



Fuente: (*Manual de Diseño con Geosintéticos – Geosoft_PAVCO*).

Las dos funciones básicas que cumple el geotextil impregnado con asfalto para poder suministrar sus beneficios, son las de:

➤ **BARRERA IMPERMEABILIZADORA**

A pesar que el concreto asfáltico ha sido sometido a un proceso de compactación y que su relación de vacíos es muy baja, hay que considerársele como un elemento permeable, a través del cual se infiltrará un gran porcentaje del agua superficial que podrá llegar a las capas granulares y a la subrasante, ablandando estos suelos afectando los parámetros de resistencia y deformabilidad. Otro efecto igualmente adverso es el incremento de presiones de poros que reduce los esfuerzos efectivos del suelo, además se presentará el efecto “prensa”, que hace disminuir la disipación de los esfuerzos producidos por cargas de tráfico a través de las capas granulares, siendo estos transmitidos directamente por el agua que se encuentra entre las partículas de suelo a la subrasante. Con el fin de evitar las situaciones anteriores, es necesario la colocación de una barrera impermeabilizadora que detenga el proceso de infiltración, prolongando la vida útil del pavimento, disminuyendo los costos de mantenimiento y posponiendo un nuevo proceso de repavimentación (*Manual y software de diseño – PAVCO*).

Tal barrera deberá estar conformada por un geotextil no tejido especial para aplicaciones de pavimentación y repavimentación, que servirá como medio para albergar una cantidad determinada de asfalto residual hasta lograr su saturación, además de una cantidad adicional para permitir la adhesión del geotextil a la superficie antigua (capa asfáltica inferior) y a la nueva capa de rodadura (*Manual y software de diseño – PAVCO*).

La cantidad de cemento asfáltico a utilizar es uno de los puntos donde se debe tener un mayor cuidado. Una de las normas constructivas internacionales para repavimentación, (Task Force 25, compuesta por la AASHTO, la AGC y la ARTBA) que ha tenido la mayor aceptación por parte de los ingenieros viales en todo el mundo, exige que como mínimo la cantidad de cemento asfáltico para saturar el geotextil debe ser de 0.9 L/m²

y como valor máximo 2 L/m² (suponiendo que si se obtienen valores mayores de retención se deberá a que sus propiedades de consistencia y ductilidad del asfalto fueron afectadas por el excesivo número de calentamiento que tuvo el material tornándolo inservible), esta es una de las razones por las cuales el geotextil a usarse debe ser un no tejido punzonado por agujas, gracias a su espesor, gramaje y porosidad que le permiten alojar tal cantidad de asfalto (*Manual y software de diseño – PAVCO*).

Se deben considerar otros factores adicionales para determinar la cantidad adecuada del cemento asfáltico o ligante a usarse, que contemplan el estado de porosidad del concreto asfáltico antiguo (*Manual y software de diseño – PAVCO*).

Una cantidad insuficiente de ligante podría causar que el geotextil no se sature totalmente, perdiéndose el efecto de impermeabilidad o puede que la adhesión entre el geotextil y las capas de concreto asfáltico no sea suficiente, originando tiempo después una superficie potencial de falla por deslizamiento. Una cantidad excesiva de ligante originará un posible problema de exudación de asfalto (*Manual y software de diseño – PAVCO*).

➤ **MEMBRANA AMORTIGUADORA DE ESFUERZOS**

Cuando una capa de repavimentación es colocada sobre la superficie antigua, los esfuerzos incluidos por agrietamiento en la capa de concreto asfáltico antigua, pueden ser transmitidos hacia la nueva capa de repavimentación, originando un agrietamiento por reflexión temprana (*Manual y software de diseño – PAVCO*).

Esto resulta del contacto entre agregados del pavimento antiguo y la capa nueva de repavimentación (*Manual y software de diseño – PAVCO*).

Al instalar un geotextil para repavimentación entre las capas de concreto asfáltico nuevas y viejas ayuda a retardar el agrietamiento por reflexión, suministrando una capa flexible de espesor suficiente que absorbe parte de los esfuerzos entre la capa de pavimento antiguo y la capa de pavimento nuevo, permitiendo movimientos leves dentro de la intercapa del geotextil, sin tensionar la capa de repavimentación en concreto asfáltico (*Manual y software de diseño – PAVCO*).

De esta forma se prolonga la vida de servicio de las capas repavimentadas. Los geotextiles no tejidos impregnados con asfalto tienen un módulo de elasticidad bajo y absorben las deformaciones sin transferirlas (*Manual y software de diseño – PAVCO*).

El geotextil para repavimentación alivia parcialmente la transferencia de esfuerzos inducidos por el tráfico en la cercanía de las grietas, actuando como una capa aliviadora de esfuerzos. La capa de base se protege de los esfuerzos cortantes generados por las cargas generadas por el tráfico y de aquí que sean toleradas deflexiones mayores. De estudios realizados se ha concluido que las 2/3 partes del alivio de esfuerzos se debe al cemento asfáltico que satura el geotextil y el resto es por el geotextil que funciona como contenedor (*Manual y software de diseño – PAVCO*).

En el caso de que una estructura de pavimento en concreto tenga un espesor mayor, mayores serán los esfuerzos de tensión en la base cuando se deflecte debido a las cargas de tráfico. La mayoría de los agrietamientos en los pavimentos comienza en la base del pavimento debido a los esfuerzos de tensión, continuando hasta la superficie (*Manual y software de diseño – PAVCO*).

Al colocar una capa de repavimentación sin una intercapa de geotextil se está incrementando el espesor total de la estructura del pavimento, aumentándose los

esfuerzos a tensión en la base del pavimento promoviendo el agrietamiento (*Manual y software de diseño – PAVCO*).

Mediante la colocación de una intercapa que absorba los esfuerzos inducidos por las cargas cíclicas de tráfico, las capas de concreto asfáltico experimentarán menos esfuerzos desarrolladores de grietas internas que aquellas secciones que no tengan intercapas. La resistencia a la fatiga de una capa de repavimentación dependerá de las características de la membrana amortiguadora de esfuerzos incluyendo su módulo de elasticidad, espesor y de la cantidad de modificadores del asfalto (*Manual y software de diseño – PAVCO*).

❖ **REQUERIMIENTOS DEL GEOTEXTIL IMPREGNADO EN ASFALTO** (Especificaciones y control de calidad en provisión e instalación de geosintéticos – Gerardo Botasso)

Requerimientos Funcionales:

- ✓ Retardar la figuración refleja
- ✓ Impermeabilizar las capas inferiores del pavimento.

Requerimientos de instalación:

- ✓ Propiedades de resistencia mecánica, química y térmica.
- ✓ Capacidad de absorción y retención de asfalto.

Requerimientos de supervivencia:

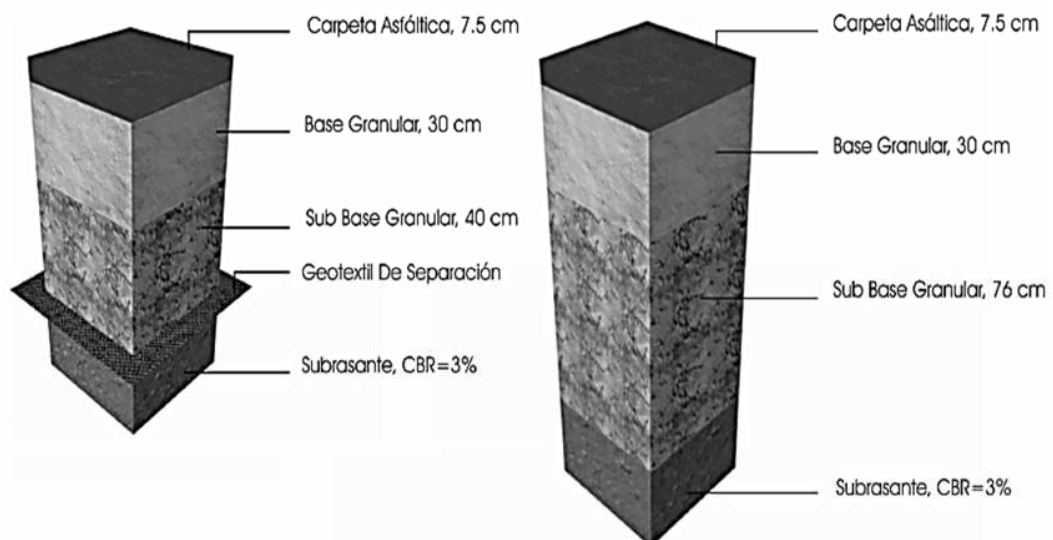
- ✓ Nivel de resistencia necesaria para soportar los esfuerzos mecánicos que deberá absorber durante la vida útil de la interface.

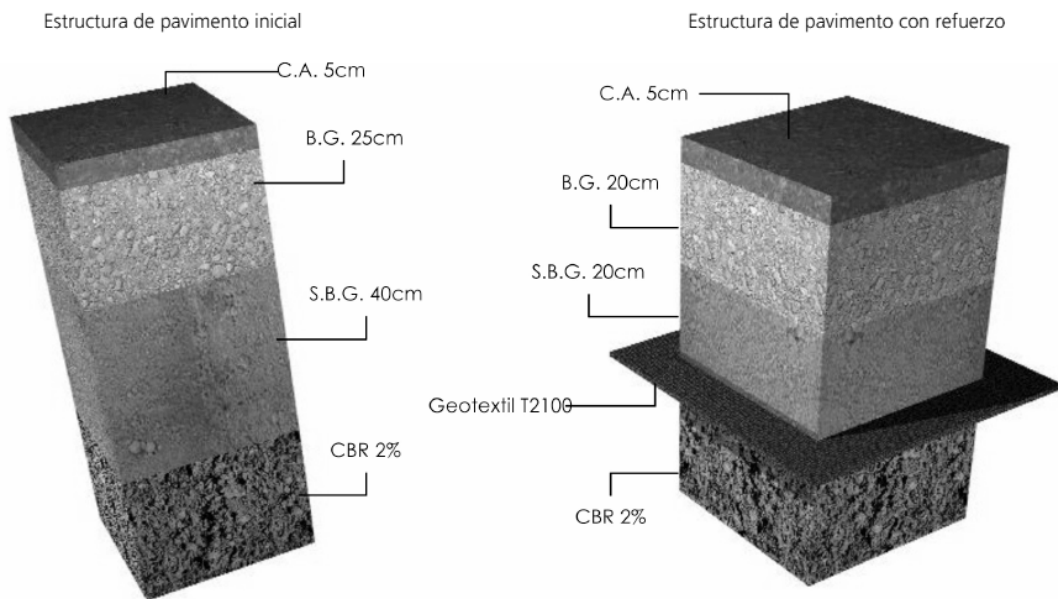
2.5. MITIGACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL CON EL USO DE GEOSINTÉTICOS EN OBRAS DE INGENIERÍA Y GEOTECNIA

Alrededor del mundo existen infinidad de ejemplos donde el uso simple y económico de los Geosintéticos ha demostrado ser la perfecta solución tanto para las obras de contención como para la recuperación de tierras y de playas.

Así mismo el uso de refuerzos geosintéticos dentro de la ingeniería vial, permite una significativa reducción en el empleo de material granular para la conformación de la capa base granular y evita eventuales deformaciones que puedan perjudicar el desempeño del pavimento. Estos factores contribuyen a una considerable reducción de costos en la ejecución y manutención de la vía, siendo esta pavimentada o no, mitigando la incidencia en el impacto ambiental de la zona.

Figura 2.20 (ESTRUCTURA DE VÍA CON GEOTEXTIL Y SIN GEOTEXTIL)





Fuente: (*Manual de Diseño con Geosinteticos – Geosoft_PAVCO*).

Con el resultado de la reducción del espesor de la capa granular se pueden evaluar las diferentes alternativas de diseño al utilizar un geotextil de refuerzo sobre la subrasante, evaluando las posibilidades del mejoramiento de las propiedades de los materiales granulares o el incremento de tránsito de diseño o el aumento de la vida útil de la estructura. Lo anterior se determina con base en el incremento de la capacidad portante de todo el sistema al usar un geotextil, definido por el aumento del módulo resiliente de la subrasante. La metodología de diseño se basa en el análisis de las deformaciones y los esfuerzos que se presentan en la estructura de pavimento.

En tema de protección superficial de suelos, protección de taludes de pendiente suave o fuerte y acciones en contra de la erosión; se tiene la aplicación de las geomallas o reoredes, cuya función primordial sería la de un refuerzo; es decir que se da una redistribución de fuerzas debido a la inclusión de un material (geomalla o reored) rígido, de alta resistencia a la tracción (60-1200 KN) y que presente un módulo de

elasticidad mayor que el material que ira a reforzar (suelo); soportando así esfuerzos de tensión que el suelo en conjunto no puede soportar.

Al emplear interfaces viscoelásticas (geotextil No Tejido saturado en asfalto) para mitigar el reflejo de fisuras entre las carpetas antiguas y nuevas de concreto asfaltico producidas por fatiga, se estaría ampliando la vida útil del proceso de repavimentación, evitando que a un corto tiempo se proceda nuevamente con un proceso de repavimentación, empleando material asfaltico, fino y granular en la construcción, mitigando el impacto ambiental en la zona.

En conclusión los productos geosintéticos ayudaran a mitigar el impacto ambiental, dado que son fabricados con una tecnología avanzada, que proporciona una solución directa a los problemas en ingeniería y geotecnia de forma general.

2.6. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS GEOSINTÉTICOS

La determinación de las propiedades físicas de los geosintéticos tiene como objetivo principal la caracterización del producto y su control de calidad. Las más importantes son: gramaje (masa por unidad de superficie), espesor y porosidad. Los ensayos para la determinación de estas propiedades han sido normalizados en varios países y propuestas de normas internacionales.

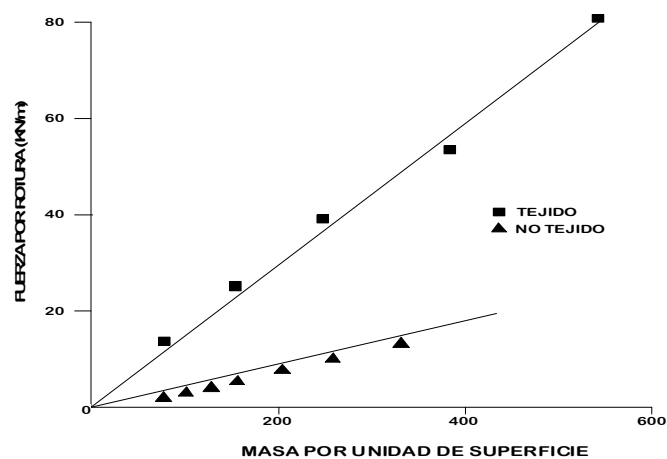
Debido a la heterogeneidad inherente al proceso de fabricación de los geosintéticos, los resultados de los ensayos, generalmente indican el valor medio obtenido y el coeficiente de variación observado.

Las características físico - mecánicas determinan el campo de aplicación de los geosintéticos.

❖ GRAMAJE (MASA POR UNIDAD DE SUPERFICIE)

Él es definido como la masa por unidad de área y se expresa en gramos por metro cuadrado (g/m^2). Permite un control simple y sencillo del geosintético, no debe, sin embargo, considerarse como el único control para su identificación. Hay a menudo una estrecha correlación entre la masa por unidad de superficie y la resistencia de los geosintéticos para cada estructura de un determinado polímero. Esto se muestra en la Fig. 2.20, la cual nos indica la relación entre la tensión de rotura y la masa por unidad de superficie. El incremento de la masa por unidad de superficie (gramaje), en el caso de algunas estructuras no tejidas, está asociado con una disminución en las propiedades como ser: el tamaño de poro característico y la permeabilidad normal (permitividad). Todo esto corrobora la idea de que la masa por unidad de superficie no puede ni debe ser un factor determinante en la elección del geosintético.

Figura 2.21 (TENSION DE ROTURA VS MASA)



Fuente: Simposio sobre geosintéticos.

La determinación de la masa por unidad de superficie se realiza determinando en una balanza la masa de varias probetas, cuyas dimensiones básicas se conocen y que han sido previamente tomadas de distintas partes de la muestra, de forma que el valor medio de los resultados que se obtengan sea el más representativo.

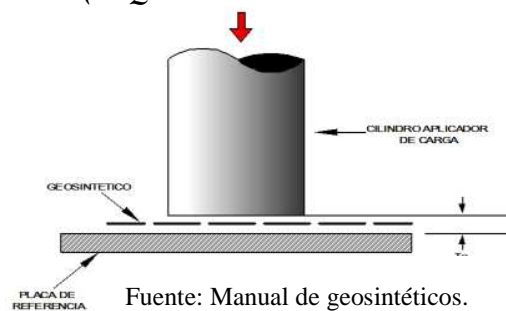
❖ ESPESOR

El espesor de un geotextil está influenciado por su tipo y la presión aplicada sobre él; según el procedimiento de fabricación, los geotextiles pueden ser más o menos compresibles perpendicularmente a su plano, lo que va a influir fundamentalmente en sus características hidráulicas y mecánicas. Como el espesor del geosintético varía en función de la carga a que el mismo es sometido, su determinación se hace sobre ciertos niveles de carga:

- Sobrecarga de 2 kPa para medida de identificación.
- Sobrecarga de 20 kPa para medida de identificación.
- 200 kPa para aproximarse a las condiciones de empleo

Se denomina "espesor nominal" al valor obtenido para una sobrecarga de 2 kPa. El ensayo consiste básicamente en medir la distancia entre dos superficies rígidas paralelas que comprimen la muestra del geotextil a una presión dada.

Figura 2.22 (ESQUEMA DEL ENSAYO DE ESPESOR)



❖ POROSIDAD

La porosidad es una característica importante de los geotextiles no tejidos, es el volumen de poros u oquedades del geotextil y define la posibilidad de éste de almacenar una cantidad de asfalto. Ella es definida como la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total de la muestra, se la expresa en % y se obtiene a través de la expresión:

$$n_g = \frac{V_v}{V} = 1 - \frac{Y}{Y_f} = \left(1 - \frac{\mu}{T_g * \rho_f * \gamma_a}\right) * 100$$

Donde:

V_v = Volumen de vacíos del geotextil.

V = Volumen total del geotextil.

T_g = Espesor del geotextil (m).

γ = Peso específico total del geotextil (kg/m³).

γ_f = Peso específico de la fibra. (Densidad de la fibra multiplicada por el peso específico del agua – kg/m³)

μ = Gramaje del geotextil (kg/m²).

ρ_f = Densidad Relativa de la fibra (Adimensional).

γ_a = Peso específico del agua a 4°C (kg/m³).

2.7. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL GEOSINTÉTICO

El estudio de las propiedades mecánicas tiene por finalidad:

- Caracterizar el geosintético.
- Controlar su calidad.
- Dar parámetros para proyectos.
- Conocer su comportamiento en determinadas condiciones de sollicitación.

Las propiedades mecánicas varían con la masa por unidad de superficie, resistencia al punzonamiento, a la perforación, y al desgarre. Por eso existe la idea no siempre cierta de que los geotextiles pesados son más resistentes frente a las sollicitaciones mecánicas.

El geosintético empleado en una obra pasa por dos fases de sollicitación bastante distintas, durante la ejecución de la obra y durante el funcionamiento de esta.

Durante la ejecución de la obra, propiedades como la resistencia a la tracción concentrada, la resistencia a la perforación por el impacto, el punzonamiento o el maltrato, la resistencia al rasgo estático o dinámico, y la flexibilidad son frecuentemente exigidas por esfuerzos difíciles de cuantificar, provocados por imponderables tales como: la caída de bloques, paso de los rodillos compactadores, etc.

Durante el funcionamiento de la obra, son sollicitadas propiedades como la compresibilidad, la resistencia a la tracción, el módulo de rigidez del geotextil, la resistencia al cizallamiento, la tracción confinada y el arrancamiento, en lo que respecta al sistema, suelo-geosintético. Evidentemente, algunas de las propiedades

relativas a esfuerzos localizados que solicitan al geosintético en la fase de ejecución de la obra, pueden también presentarse durante su funcionamiento. Podemos citar como ejemplo los casos de drenes, separadores de balastos ferroviarios, etc.

❖ RESISTENCIA A LA PROPAGACIÓN DEL RASGADO O DESGARRO

La resistencia al desgarre indica la fuerza que opone un geosintético a la propagación de una rotura local producida accidentalmente en él. Se mide en sentido paralelo a la fabricación y perpendicularmente a éste.

La tensión de rotura y el alargamiento en la rotura tienen, una importancia primordial cuando el geosintético va a realizar un papel de armadura.

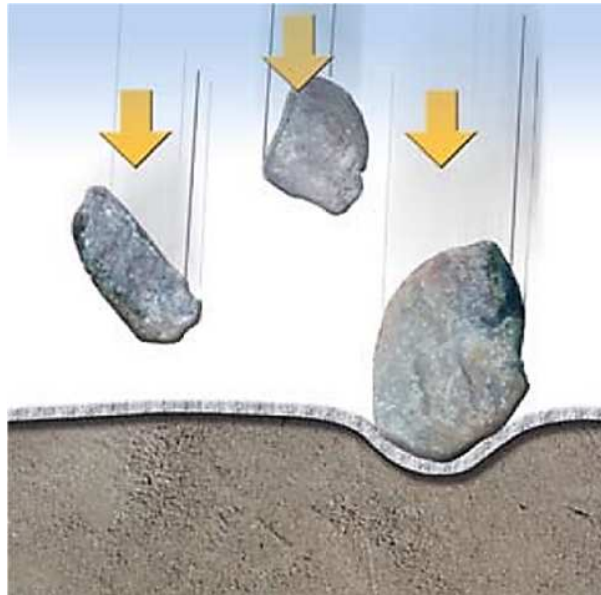
En esencia el procedimiento operativo consiste en colocar una probeta entre las mordazas de la máquina de ensayo a tracción, fijándola adecuadamente en toda su anchura y someterla a un esfuerzo longitudinal con velocidad de deformación constante hasta producir su rotura.

Como el geosintético puede ser accidentalmente perforado en la obra, es interesante que él imponga una cierta resistencia a la propagación de los daños casualmente ocurridos, de ahí el sentido de hacer el ensayo midiendo la fuerza para que, junto a una incisión previamente ejecutada, surja un proceso de ruptura, en la actualidad se tiene un ensayo donde la muestra tiene forma trapezoidal, este es el más empleado para los geosintéticos.

❖ RESISTENCIA A LA PERFORACIÓN POR IMPACTO

Penetración de un objeto a consecuencia de un efecto dinámico. Este parámetro determina la vulnerabilidad de los geosintéticos a los impactos producidos por la caída de materiales durante su puesta en obra.

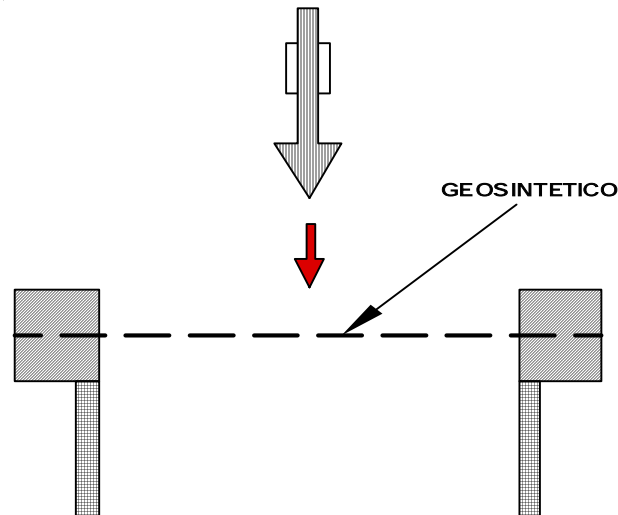
Figura 2.24 (PERFORACIÓN POR IMPACTO)



Fuente: (*Manual de geotextiles FIBERTEX*)

Los ensayos realizados para estudiar la resistencia de un geosintético a la perforación por impacto de un objeto puntagudo, consisten básicamente en la medida del diámetro del agujero, o de la energía necesaria de la perforación de un cono o pirámide, en caída libre sobre una manta fijada sobre un cilindro vacío, pudiendo ser presionado también por agua o suelo.

Figura 2.25 (ESQUEMA DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA PERFORACIÓN)

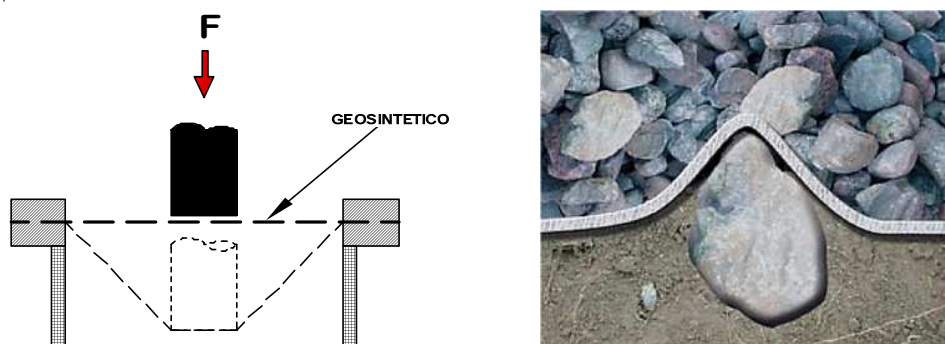


Fuente: Simposio sobre geosintéticos.

❖ RESISTENCIA A LA PERFORACIÓN POR PUNZONAMIENTO

Además de cumplir la función de separación, el geotextil de separación debe resistir el proceso de instalación, sin que sus propiedades iniciales sufran modificaciones importantes. así se garantiza el buen funcionamiento del geotextil durante la vida útil de la vía. Materiales punzonantes, piedras angulares, ramas de árboles, desechos de construcción y otro tipo de objetos que se encuentren sobre el suelo (subyacente) que quede en contacto con el geotextil, pueden romperlo y desgastarlo cuando se coloque la capa granular y se apliquen las cargas de tráfico sobre la estructura. Se debe calcular la fuerza vertical que actuará sobre el geotextil bajo estas condiciones, y verificar que el geotextil que se coloque resista el punzonamiento que se genere.

Figura 2.26 (ENSAYO Y EFECTO DE PUNZONAMIENTO CAUSADO POR UNA PARTÍCULA)



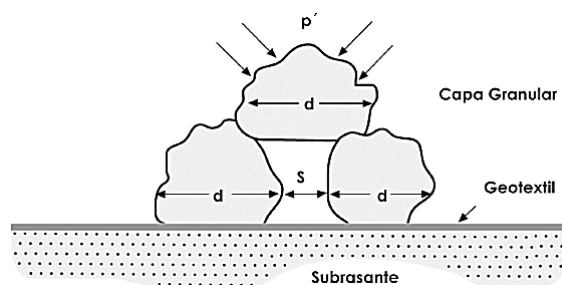
Fuente: (Manual de Diseño con Geosintéticos – Geosoft_PAVCO).

Para la realización de este ensayo, casi todas las normas recurren al empleo de un molde CBR modificado. En el ensayo se describe un método para la determinación de la resistencia al punzonamiento mediante la medida de la fuerza necesaria para llegar a perforar un geosintético por medio de un émbolo o pistón de cabeza plana.

❖ RESISTENCIA A LA TENSIÓN

Ocurre cuando el geotextil está “atrapado” por una capa granular y un suelo de subrasante. Cuando una partícula superior es forzada contra dos partículas inferiores que están en contacto con el geotextil se genera un esfuerzo de tracción en su plano, determinando la carga de rotura del geotextil y su elongación correspondiente.

Figura 2.27 (RESISTENCIA A LA TRACCIÓN)

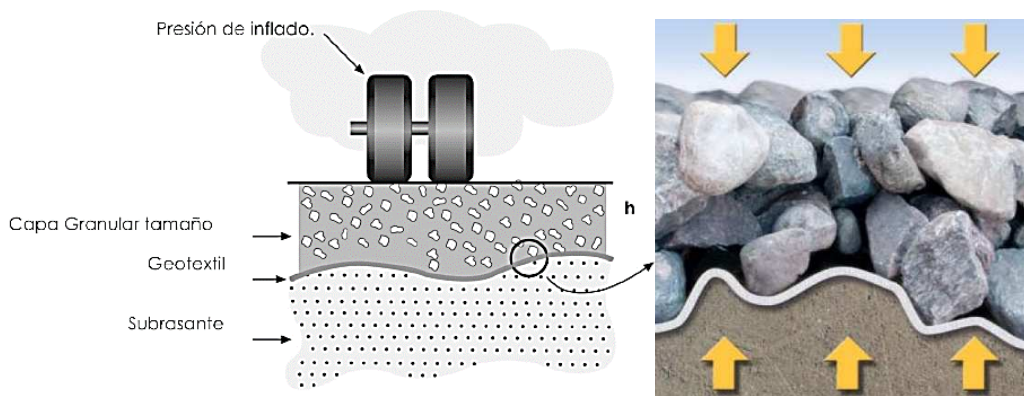


Fuente: (Manual de Diseño con Geosintéticos – Geosoft_PAVCO).

❖ RESISTENCIA AL ESTALLIDO

Entre las partículas del suelo granular que se colocan sobre el geotextil existen vacíos que permiten que el geotextil se introduzca entre ellas por la acción simultánea de las cargas de tráfico que son transmitidas hasta las capas granulares, al geotextil y al suelo de subrasante. una vez sometido a esfuerzos, el suelo trata de empujar el geotextil por los vacíos de la capa granular.

Figura 2.28 (RESISTENCIA AL ESTALLIDO)



Fuente: (Manual de Diseño con Geosintéticos – Geosoft_PAVCO).

❖ FLEXIBILIDAD

En algunas obras geotécnicas como por ejemplo en la ejecución de taludes, suelos reforzados es importante conocer la flexibilidad de un geosintético. Este parámetro permite también evaluar la capacidad de acomodación, entre el geosintético y el suelo.

❖ ISOTROPÍA

Los geosintéticos presentan isotropía cuando poseen las mismas propiedades mecánicas en todas las direcciones.

2.8. PROPIEDADES HIDRÁULICAS

Las propiedades hidráulicas tienen una importancia fundamental, cuando el geosintético va a realizar una función de filtro o de drenaje.

En general todos los métodos de ensayo se basan en la ley de Darcy (régimen laminar) y se refieren tanto a la permeabilidad normal al plano (permitividad) como a permeabilidad en el plano (transmisibilidad).

Para la adecuada utilización de geosintéticos en las funciones de separador, filtro o dren, es necesario conocer sus propiedades hidráulicas, definidas por la:

- Permeabilidad normal a la manta – permitividad
- Permeabilidad en el plano de la manta – transmisibilidad
- Porometría - abertura de filtración.

La compresibilidad de los geosintéticos hace que su permeabilidad sea función de la tensión normal a que ellas están sometidas. Los resultados de ensayo deben, por lo tanto, indicar la presión actuante sobre el geosintético durante su realización. Se puede adoptar como "permeabilidad nominal" el valor obtenido sobre tensión de 2 kPa o sea, para la condición de espesor nominal.

❖ PERMEABILIDAD NORMAL AL PLANO DEL GEOSINTÉTICO – PERMITIVIDAD

La permeabilidad normal al plano de un geosintético se mide en un permeámetro con determinadas características, agua desmineralizada y sin aire.

Mediante este ensayo se mide la permitividad, que es la razón entre la permeabilidad normal (coeficiente de Darcy K_0) y el espesor del geosintético.

Para su determinación se mide el caudal de agua que puede circular perpendicularmente al plano del geosintético.

❖ PERMEABILIDAD HORIZONTAL EN EL PLANO DEL GEOSINTÉTICO – TRANSMISIBILIDAD

La permeabilidad en el plano de un geosintético está medida, igualmente, mediante un permeámetro con agua desmineralizada y sin aire. Se realiza en las mismas condiciones que el caso de la permeabilidad normal, obteniéndose la transmisibilidad.

La transmisibilidad es el producto de la permeabilidad en el plano por el espesor del geosintético, y sin aire. Representa el caudal de agua que circula sobre el plano del geosintético. La transmisibilidad resulta apreciable en los geosintéticos de gran espesor. La permeabilidad transversal de un geosintético indica la capacidad que la manta posee de conducir agua en su propio plano.

En los casos en que se presente un nivel freático muy alto o condiciones críticas de humedad de la subrasante, se debe utilizar un geotextil con alta transmisividad que permite el drenaje a través de su plano, (geotextiles no tejidos punzonados por agujas). en estos casos se recomienda incorporar un sistema de subdrenaje lateral para abatir el nivel freático.

❖ ABERTURA DE FILTRACIÓN - POROMETRÍA (DIÁMETRO EFICAZ DE LOS POROS)

Es de fundamental importancia en el estado de capacidad de retención de los geosintéticos cuando son utilizados como filtros, separadores o drenes. Esta propiedad es la que causa mayor polémica internacionalmente, no llegándose hasta el momento a una metodología definida de ensayo consensuada.

Todos los métodos para la determinación de esta propiedad lo hacen mediante un tamizado, usando el geosintético a ensayar como base del tamiz.

La abertura de los poros, igual que la dimensión de las mallas de un geosintético, fijan el diámetro de las partículas del suelo que pueden ser retenidas por él, y que son de hecho determinadas para su eficacia como filtro.

La porometría del geosintético es la medida de las dimensiones de sus poros. La abertura de filtración puede ser considerada como la mayor abertura (poro) del geosintético, correspondiendo esta al tamaño de la mayor partícula que atraviesa el mismo en las condiciones específicas del ensayo.

En el ensayo se calcula el diámetro medio como el tamaño de las partículas, para el cual un determinado % de la fracción es retenida en el geosintético.

2.9. PROPIEDADES DE DURABILIDAD

Es la propiedad con la cual el material mantiene sus características con el paso del tiempo. Los geosintéticos están sujetos a muchas formas de degradación como: las mecánicas (abrasión, fatiga, fluencia, desgarró), ataques químicos (ácidos, bases, disolventes orgánicos), ataques hidráulicos (colmatación y humedad). El ataque biológico puede ser visto como un ataque químico, ya que los microorganismos pueden atacar al geosintético en la misma forma que un proceso químico. Similarmente, el ataque fotoquímico y por radiación, a pesar de iniciarse por la luz, al final se produce la degradación de la estructura del polímero del geosintético.

Los ensayos que estudian el comportamiento en función del tiempo vienen siendo llamados ensayos de durabilidad y se dividen en dos grupos básicos:

- Estudio de variación en el tiempo de las características del geosintético sobre el efecto de las condiciones de carga o flujo, impuestas o previstas en el proyecto, tales son los ensayos de fluencia, relajación, resistencia a la abrasión, fatiga, colmatación, pérdida de partículas.

- Estudio de variación en el tiempo de las características del geosintético a consecuencia de los ataques del medio ambiente tales como: el efecto de la temperatura, estabilidad ante los rayos ultra violetas, resistencia a los ataques químicos y biológicos.

3.1. GENERALIDADES

El uso moderno del asfalto para carreteras y construcciones de calles comenzó a finales del siglo, y creció rápidamente con el surgimiento de la industria automotriz. Desde entonces, la tecnología del asfalto ha dado grandes pasos, hoy día, los equipos y los procedimientos usados para construir estructuras de pavimentos asfálticos son bastantes sofisticados. Esta sección trata sobre asfalto, desde sus antecedentes históricos hasta su composición, propiedades, características, etc.

3.2. RESEÑA HISTÓRICA

El asfalto es un componente natural de la mayor parte de los petróleos. La palabra asfalto, deriva del acadio, lengua hablada en Asiria, en las orillas del Tigris superior, entre los años 1400 y 600 A.C en esta zona se encuentra en efecto la palabra “Sphalto” que significa “lo que hace caer”. Luego la palabra fue adoptada por el griego, paso a latín y más adelante, al francés (asphalte), el español (asfalto) y al inglés (asphalt).

Estudios arqueológicos, indican que es uno de los materiales constructivos más antiguos que el hombre ha utilizado.

En el sector de la construcción, la utilización más antigua se remonta aproximadamente al año 3200 A.C excavaciones efectuadas en TellAsmer, a 80Km al noroeste de Bagdad, permitieron constatar que los Sumerios habían utilizado como mastic de asfalto para la construcción, dicho mastic, compuesto por Betún, finos materiales y paja, se utilizaba en la pega de ladrillos, en la realización de pavimentos interiores y como revestimiento impermeable. Los egipcios le habían encontrado otra aplicación al Betún, como relleno del cuerpo en trabajos de momificación, práctica que se extiende

aproximadamente hasta el año 300 A.C: los árabes desarrollaron un uso medicinal al asfalto, el cual se extendió hasta nuestra época.

El betún natural fue descubierto a mediados del siglo XVI, en la isla de Trinidad, por Cristóbal Colon, un siglo más tarde, Sir Walter Raleigh quedó asombrado ante este lago de betún y tomó posesión de él para la Corona Británica, mientras tanto, en 1972, el griego Eirini D' Eyrinis hizo otro descubrimiento: el yacimiento de asfalto de Val de Travers en Suiza y luego el yacimiento de Seyssel en el Valle de Ródano, a partir de estos yacimientos se elaboró el “mastic de asfalto”, aplicado a revestimiento de caminos y senderos.

El asfalto es uno de los componentes ingenieriles más arcaicos utilizados desde los inicios del hombre para la construcción. Excavaciones arqueológicas muestran el extenso uso que se dio al asfalto en los valles de Mesopotamia y del Indo entre los años 3200 a 540 A.C. lo usaban como un cementante para la construcción de mampostería y de caminos, en otros lugares lo usaban como impermeabilizante para baños en los templos y en depósitos de agua.

En 1802 en Francia se usó para el terminado superficial de pisos, puentes y bancos. En 1870 en Nueva Jersey se colocó el primer pavimento asfáltico utilizando roca asfáltica importada del Valle de Ródano en Francia. El diseño lo realizó un químico de origen belga llamado E. J. Desmet. En 1876 se aplicó la primera capa de mezcla asfáltica con arena en Washington D.C.; utilizando la roca asfáltica antes mencionada y también asfalto importado del Lago La Trinidad cerca de Venezuela.

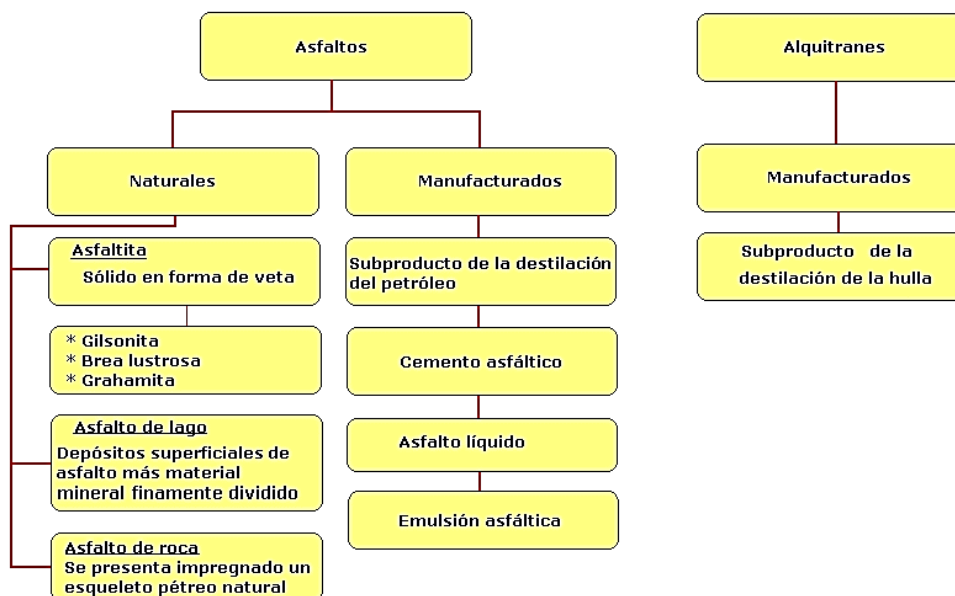
El lago de asfalto más extenso del mundo se encuentra en el estado Sucre, Venezuela, llamado lago Guanoco, con 4 km² de extensión y 75 millones de barriles de asfalto

natural. Le sigue en extensión e importancia el lago de asfalto de La Brea, en la isla de Trinidad.

3.3. DEFINICIÓN

El asfalto es un material bituminoso de color negro, constituido principalmente por asfáltenos (moléculas complejas de alto peso molecular, insoluble en hidrocarburos parafínicos y soluble en compuestos aromáticos como el benceno), resinas y aceites; elementos que proporcionan características de consistencias, aglutinación y ductilidad; Los asfáltenos cargan con la responsabilidad de las características estructurales y de dureza de los asfaltos, las resinas le proporcionan sus propiedades aglutinantes y los aceites la consistencia adecuada para hacerlos trabajables. Es sólido o semisólido y tiene propiedades cementantes a temperaturas ambientales normales. Al calentarse se ablanda gradualmente hasta alcanzar una consistencia líquida. Estos pueden tener dos orígenes: los derivados de petróleos y los naturales.

Cuadro 3.1 (PRODUCTOS BITUMINOSOS)



Fuente: (Ligantes Bituminosos – Ing. Gerardo Sánchez)

Los asfaltos naturales, se han producidos a partir del petróleo, pero por un proceso natural de evaporación de las fracciones volátiles, dejando las asfálticas solamente. Estos pueden encontrarse como escurrimientos superficiales en depresiones terrestres, dando origen a los lagos de asfalto, como los de las islas Trinidad y Bermudas. También aparecen impregnando los poros de algunas rocas, denominándose rocas asfálticas. Así también se encuentran mezclados con elementos minerales, como pueden ser arenas y arcillas en cantidades variables, debiendo someterse a posteriores procesos de purificación, para luego poder ser utilizadas en pavimentación. En la actualidad, no es muy utilizado este tipo de asfalto por cuanto adolece de uniformidad y pureza.

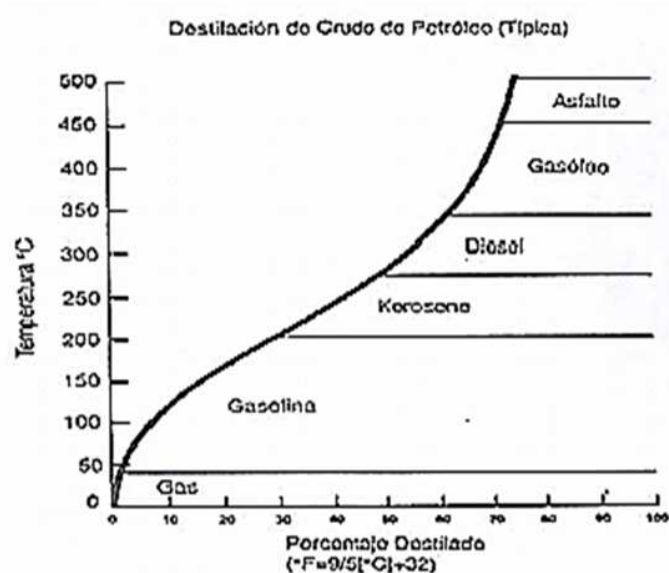
Esta mezcla compleja de hidrocarburos sólidos en estado natural se encuentra en lagunas de algunas cuencas petroleras, como sucede en el lago de asfalto de Guanoco, el lago más extenso del mundo (Estado Sucre, Venezuela). A pesar de la fácil explotación y excelente calidad del asfalto natural, no suele explotarse desde hace mucho tiempo ya que, al obtenerse en las refinerías petroleras como subproducto sólido en el craqueo o fragmentación que se produce en las torres de destilación, resulta mucho más económica su obtención de este modo. Sucede algo parecido con la obtención del gas, que también resulta un subproducto casi indeseable en el proceso de obtención de gasolina y otros derivados del petróleo.

Los asfaltos más utilizados en el mundo de hoy en día, son los **derivados del petróleo**, los cuales se obtienen por medio de un proceso de destilación industrial del crudo. Representan más del 90% de la producción total de los asfaltos. La mayoría de los petróleos crudos contienen asfalto. En base a la proporción de asfalto que poseen, los petróleos se clasifican en: Petróleos crudos de base asfáltica, Petróleos crudos de base parafínica y Petróleos crudos de base mixta (contiene parafina y asfalto).

El asfalto procedente de ciertos crudos ricos en parafina no es apto para fines viales, por cuanto precipita a temperaturas bajas, formando una segunda fase discontinua, lo que da como resultado propiedades indeseables, tal como la perdida de ductilidad, con los crudos asfálticos esto sucede, dada su composición.

El petróleo crudo extraído de los pozos, es sometido a un proceso de destilación (Figura 3.1 - Productos y Temperaturas típicas de destilación) en el cual se separan las fracciones livianas como la nafta y keroseno de la base asfáltica mediante la vaporización, fraccionamiento y condensación de las mismas. En consecuencia, el asfalto es obtenido como un producto residual del proceso anterior. El asfalto es además un material bituminoso pues contiene betún, el cual es un hidrocarburo soluble en bisulfuro de carbono. El alquitrán obtenido de la destilación destructiva de un carbón graso, también contiene betún, por lo tanto también es un material bituminoso pero no debe confundirse con el asfalto, ya que sus propiedades difieren considerablemente.

Figura 3.1 (PRODUCTOS Y TEMPERATURAS TÍPICAS DE DESTILACIÓN)



Fuente: (Instituto del Asfalto, Manual del Asfalto).

El asfalto de petróleo moderno, tiene las mismas características de durabilidad que el asfalto natural, pero tiene la importante ventaja adicional de ser refinado hasta una condición uniforme, libre de materias orgánicas y minerales extraños.

3.4. OBTENCIÓN DEL ASFALTO EN REFINERÍAS

El crudo de petróleo es una mezcla de distintos hidrocarburos que incluyen desde gases muy livianos como el metano hasta compuestos semisólidos muy complejos, los componentes del asfalto. Para obtener este debe separarse las distintas fracciones del crudo de petróleo por destilaciones que se realizan en las refinerías de petróleo.

❖ DESTILACIÓN PRIMARIA

Es la operación a que se somete el crudo. Consiste en calentar el crudo en hornos tubulares hasta aproximadamente 375°C. Los componentes livianos (nafta, keroseno, gas oíl), hierven hasta esta temperatura y se transforman en vapor. La mezcla de vapores y líquido caliente pasa a una columna fraccionada. El líquido o residuo de destilación primaria se junta todo en el fondo de la columna y de ahí se bombea a otras unidades de la refinería.

❖ DESTILACIÓN AL VACÍO

Para separar el fondo de la destilación primaria, otra fracción libre de asfáltenos y la otra con el concentrado de ellos, se recurre comúnmente a la destilación al vacío. Difiere de la destilación primaria, en que mediante equipos especiales se baja la presión (aumenta el vacío) en la columna fraccionada, lográndose así que las fracciones

pesadas hiervan a menor temperatura que aquella a la que hervían a la presión atmosférica. El producto del fondo de la columna, es un residuo asfáltico más o menos duro a temperatura ambiente, se denomina residuo de vacío.

De acuerdo a la cantidad de vacío que se practica en la columna de destilación, se obtendrá distintos cortes de asfaltos que ya pueden ser utilizados como cementos asfálticos.

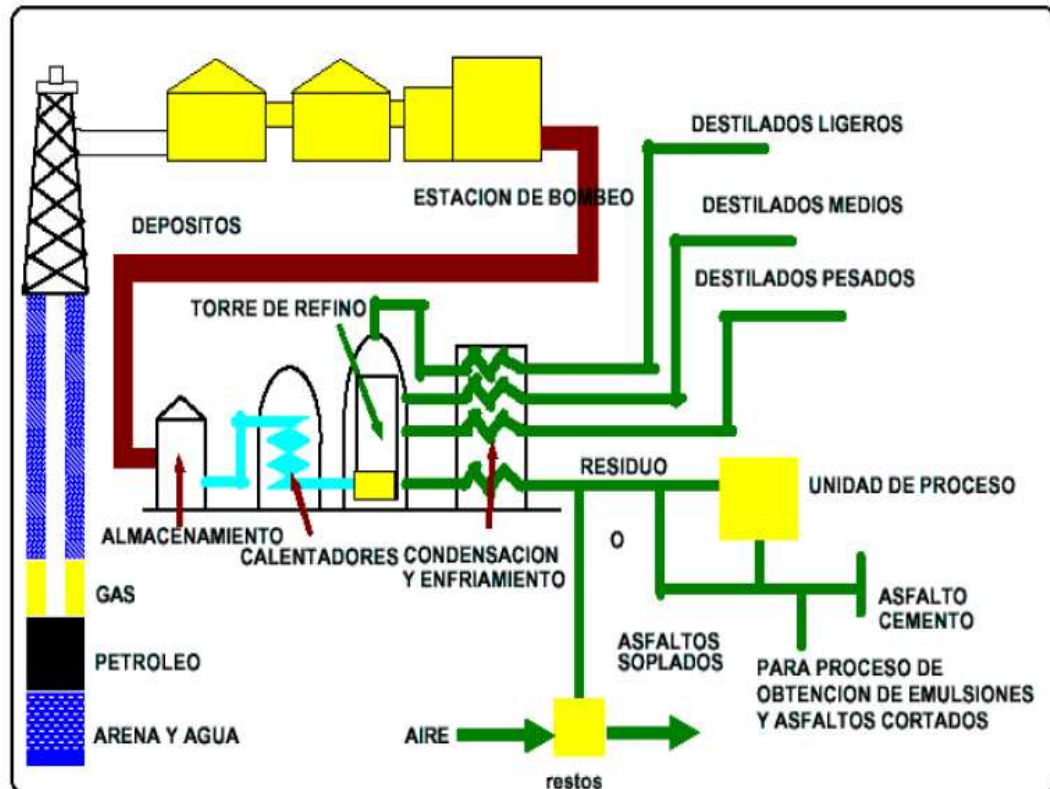
❖ **DESASFALTIZACIÓN CON PROPANO O BUTANO**

El residuo del vacío obtenido, contiene los asfáltenos dispersos en un aceite muy pesado, que, a la baja presión (alto vacío) y alta temperatura de la columna de vacío, no hierve (se destila). Una forma de separar el aceite de los asfáltenos es disolver (extraer) este aceite con gas licuado de petróleo.

El proceso se denomina “Desasfaltización”, es decir del aceite muy pesado obtengo aceite desasfaltizado. Se utiliza como solvente propano o butano líquido, a presión alta y temperaturas relativamente moderadas (70 a 120°C).

El gas licuado extrae el aceite y queda un residuo semisólido llamado “bitumen”. En la figura 3.2 se muestra en forma esquemática el proceso de refinación del petróleo.

Figura 3.2 (PROCESO DE REFINACIÓN DEL PETRÓLEO)



Fuente: (Ligantes Bituminosos – Ing. Gerardo Sánchez)

3.5. COMPOSICIÓN

El asfalto es considerado un sistema coloidal complejo de hidrocarburos, en el cual es difícil establecer una distinción clara entre fase continua y dispersa. Las primeras experiencias para descubrir su estructura, fueron desarrolladas por Nellensteyn en 1924, cuyo modelo fue mejorado más tarde por Pfeiffery Saal en 1940, en base a limitados procedimientos analíticos.

El modelo adoptado para configurar la estructura del asfalto se denomina modelo micelar, el cual provee de una razonable explicación de dicha estructura, en el cual existen dos fases; una discontinua (aromática) formada por dos asfáltenos y una continua que rodea y solubiliza a los asfáltenos, denominada máltenos. Las resinas contenidas en los máltenos son intermediarias en el asfalto, cumpliendo la misión de homogenizar y compatibilizar a los insolubles asfáltenos. Los máltenos y asfáltenos existen como islas flotando en el tercer componente del asfalto, los aceites (Fig. 4.1. El asfalto).

Cuadro 3.2 (EL ASFALTO)



Fuente: (Instituto del Asfalto. Manual del Asfalto).

3.6. PROPIEDADES DEL ASFALTO

❖ CONSISTENCIA

Se refiere a la dureza del material, la cual depende de la temperatura. La penetración es una medida de la consistencia del producto. Se determina midiendo en décimas de mm la longitud que entra una aguja normalizada en una muestra con unas condiciones especificadas de tiempo, temperatura y carga. Esto mide si el producto es líquido, semisólido o sólido. La

consistencia varía con la densidad, disminuyendo la consistencia al aumentar la densidad (De 0.9 a 1.4 Kg/dm³, variando notablemente con la temperatura).

❖ DURABILIDAD

Capacidad para mantener sus propiedades con el paso del tiempo y la acción de agentes envejecedores.

❖ VISCOSIDAD

Es una propiedad de un fluido que tiende a oponerse a su flujo cuando se le aplica una fuerza. Los fluidos de alta viscosidad presentan mayor resistencia a fluir en comparación de un fluido con baja viscosidad que fluye con facilidad. Es importante mencionar que la viscosidad es inversamente proporcional a la temperatura; a mayor temperatura, menor viscosidad. Es consecuencia del rozamiento interno de las moléculas.

En la práctica se usan sistemas que dan viscosidad como media del tiempo que tarda en fluir por un orificio una determinada cantidad de betún (Sist. Saybolt, Furos, Engler).

❖ PUNTO DE INFLAMACIÓN

Es la temperatura a la que arden los vapores del betún o alquitrán al aproximar a la superficie del material una llama de pruebas. Es interesante que este punto sea 25 o 30°C por encima de la temperatura a la que se manipula el material.

❖ RESISTENCIA AL CORTE

Es la capacidad de resistencia a altas temperaturas, la cual se determina con un “reómetro de corte dinámico”, que es el aparato que imprime una fuerza cortante cosenoidal con la que se miden dichas resistencias.

❖ DUCTILIDAD

Es la capacidad de disipación de energía que tiene un material dentro de su rango plástico. Se mide por el alargamiento, antes de producirse la rotura, de una probeta de material bituminoso estirada por sus extremos con una velocidad constante. Es necesario que un material bituminoso pueda alargarse sin producirse grietas, pero una ductilidad excesiva no es conveniente (produce roderas). En el caso del asfalto, la ductilidad le permite normalmente tener mejores propiedades aglomerantes y los asfaltos con una ductilidad muy elevada son usualmente susceptibles a los cambios de temperatura.

❖ PÉRDIDA DE MASA

Es la pérdida de solventes o ligeros.

❖ RESISTIVIDAD/CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

El asfalto tiene una alta resistencia (o una baja conductividad) y es en consecuencia un buen material aislante. La resistencia de todos los grados comerciales decrece con el incremento de la temperatura.

❖ SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA

Variación de sus propiedades con la temperatura. Es la aptitud que presenta un producto para variar su viscosidad en función de la temperatura. Los menos susceptibles son los oxidados, después los de penetración y los que más susceptibles son los alquitranes. Al enfriarse el betún duro aumenta mucho más su viscosidad. Los betunes duros (con menor penetración) son más susceptibles. El punto de reblandecimiento es una medida de la susceptibilidad térmica. Este aumenta cuando aumenta la densidad y la penetración disminuye.

❖ PUREZA

Definición de su composición química y el contenido de impurezas que posee.

❖ SEGURIDAD

Capacidad de manejar el asfalto a altas temperaturas sin peligros de inflamación.

3.7. PROCESOS DE MEJORAMIENTO

❖ PROCESOS DEL ASFALTO

El asfalto cuenta con dos tipos de procesos de mejoramiento, tanto físicos como químicos, descrito a continuación:

➤ **PROCESO QUÍMICO**

○ **POLIMERACIÓN**

Formación de moléculas más grandes, generando una estructura más rígida. Depende del tipo de asfalto y la temperatura. Proceso irreversible pero se puede atenuar.

○ **OXIDACIÓN**

Es una reacción entre el asfalto y el oxígeno, es una forma de polimeración.

➤ **PROCESO FÍSICO –QUÍMICO**

○ **VOLATILIZACIÓN**

Evaporización de los componentes más livianos del asfalto. Depende únicamente de la temperatura, proceso reversible pero no se logra el mismo material.

3.8. CEMENTO ASFÁLTICO

Es un material aglomerante sólido o semisólido de color negro o pardo oscuro, que se ablanda gradualmente al calentarse y cuyos constituyentes predominantes son hidrocarburos pesados. Soluble en bisulfuro de carbono en un 99% generalmente, obtenido mayormente como subproducto en el proceso de destilación industrial del petróleo crudo.

El cemento asfáltico ha sido utilizado con éxito en la pavimentación de vías debido principalmente a que es un material altamente cementante, termoplástico, repelente del agua, resistente al ataque de la mayoría de los ácidos, álcalis, sales, posee alta elasticidad a altas temperaturas, suficiente ductilidad a bajas temperaturas, baja susceptibilidad al cambio de temperatura, buena adhesión, cohesión y bajo contenido de parafina (alta resistencia al envejecimiento), por lo que: proporciona una buena unión y cohesión entre agregados (incrementando por ello la resistencia con la adición de espesores relativamente pequeños), resiste la acción mecánica de disgregación producida por las cargas aplicadas (gracias a la flexibilidad dada a la estructura) e impermeabiliza la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra penetración del agua proveniente de las precipitaciones.

De acuerdo a esto, los cementos asfálticos más comúnmente usados son los siguientes:

CA 40 - 50 : Para sellado de juntas de pavimento de hormigón

CA 60 - 70 : En concreto asfáltico

CA 85 - 100 : En concreto asfáltico

CA 120 - 150 : Tratamientos superficiales

❖ ESTADO LÍQUIDO DEL CEMENTO ASFALTICO

El cemento asfáltico puede ser llevado temporalmente a condición fluida (líquido) durante las operaciones de construcción, de tres maneras:

- **DERRITIÉNDOLO:** Después de las operaciones de construcción, el cemento asfáltico líquido y caliente se enfría, retornando de su condición fluida, a su condición normal semisólida.

- **DILUYÉNDOLO EN SOLVENTES DE PETRÓLEO SELECCIONADOS:** Este proceso se llama recomposición (cutting back). El asfalto obtenido se denomina asfalto diluido. Después de la reconstrucción, el solvente se evapora dejando en el lugar el cemento asfáltico. El uso del asfalto diluido ha declinado debido a la escasez de petróleo y las regulaciones gubernamentales del ambiente.

- **EMULSIFICÁNDOLO CON AGUA:** Como el asfalto y el agua ordinariamente no se mezclan, puede hacerse que lleguen a esta condición mediante la agitación del asfalto con el agua en un molino coloidal y la adición de una pequeña cantidad de agente emulsificante o emulsivo. El producto resultante, denominado Emulsión Asfáltica, es fluido y está listo para las operaciones de construcción. Durante la construcción, el agua y el asfalto se separan. Las partículas de asfalto se unen por coalescencia y coagulación en una película continua, que cementa las partículas del agregado cuando el agua se evapora. Cuando el agua y el asfalto se separan se dice que la emulsión rompe o se ha curado.

3.9. CLASIFICACIÓN O TIPOS DE ASFALTOS

❖ ASFALTOS SÓLIDOS

➤ ASFALTOS SÓLIDOS O DUROS

El cemento asfáltico es un material bituminoso; altamente cementante, termoplástico, repelente del agua, resistente al ataque de la mayoría de los ácidos, álcalis, sales, posee alta elasticidad a altas temperaturas, suficiente ductilidad a bajas temperaturas, baja susceptibilidad al cambio de temperatura, buena adhesión, cohesión y bajo contenido de parafina (alta resistencia al envejecimiento).

➤ ASFALTOS FILLERIZADOS

Asfaltos en cuya composición hay materias minerales finamente molidas que pasan por el tamiz # 200. Los fillers son sustancias finamente divididas las cuales son insolubles en asfalto pero que pueden ser dispersadas en él, como un medio de modificar sus propiedades mecánicas y consistencia. Usualmente sus sustancias minerales; materiales orgánicos tales como madera o corcho, raramente se utilizan. Típicos fillers minerales: cal, cemento, polvo de tiza, cenizas de combustible pulverizada, talco, sílice, etc. El efecto general de la adicción de fillers es endurecer el asfalto. En términos prácticos significa que existirá una reducción en su deformación o fluencia producida por una carga, un incremento en su punto de ablandamiento, una reducción de su penetración y un incremento en el stiffness. La propiedad de endurecimiento o stiffness depende de la cantidad de filler agregado o del tamaño de la partícula así como de la forma de la misma.

❖ ASFALTOS LÍQUIDOS

Son materiales asfálticos de consistencia blanda o fluida. También se los denomina asfaltos rebajados o cutbacks. Se componen por una fase asfáltica y un fluidificante volátil, que puede ser bencina, keroseno o aceite. Los fluidificantes al ser expuestos a las condiciones atmosféricas, se evaporan (proceso de curado), quedando el residuo asfáltico el cual envuelve y cohesiona las partículas del agregado.

De acuerdo al grado de volatilización del fluidificante (más o menos volátil) los asfaltos líquidos se pueden clasificar en tres tipos:

- ✓ Curado Rápido (RC).
- ✓ Curado Medio (MC).
- ✓ Curado Lento (SC).

➤ ASFALTO DE CURADO RÁPIDO (RC)

Asfaltos rebajados de fraguado rápido se designan con las letras RC (Rapid Curing), son cementos asfálticos diluidos con un destilado de petróleo tal como la nafta o gasolina, que se evapora rápidamente. Los productos de curado rápido se emplean cuando se desea un cambio rápido del estado líquido de aplicación al cemento asfáltico original.

Es aplicado en la construcción de carpetas, sub-bases y bases estabilizadas, riegos de liga, carpetas de riegos y riegos de sello.

Las características del solvente son: Alta volatilidad y Punto de ebullición bajo.

Cuadro 3.3 (ASFALTOS DE CURADO RÁPIDO)

GRADO	RESIDUO ASFALTICO EN VOLUMEN EN %	DISOLVENTE - GASOLINA EN %
RC - 70	55	45
RC - 250	65	35
RC - 800	75	25
RC - 3000	80	20

Fuente: (Pavimentos – Fernando Pineda P.)

Cuadro 3.4 (NORMAS DE CALIDAD PARA ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO RÁPIDO)

CONCEPTO	GRADO DEL PRODUCTO				
	FR - 0	FR - 1	FR - 2	FR - 3	FR - 4
PRUEBAS EN EL PRODUCTO ORIGINAL					
Punto de ignición mín. (copa abierta de Cleveland, °C)..			35	35	35
Viscosidad Saybolt-Furol					
a 25 °C seg.....	75 - 150	_____	_____	_____	_____
a 50 °C seg.....	_____	75 - 150	_____	_____	_____
a 60 °C seg.....	_____	_____	100 - 120	250 - 500	_____
a 82 °C seg.....	_____	_____	_____	_____	125 - 250
Penetración del asfalto básico (grados).....	80 - 100	80 - 100	80 - 100	80 - 100	80 - 100
Destilación: % del total destilado a 360 °C.					
Hasta 190 °C.....	15	10	_____	_____	_____
Hasta 225 °C.....	55	50	40	25	8
Hasta 260 °C.....	75	70	65	55	40
Hasta 315 °C.....	90	88	87	83	80
Residuo de la destilación a 360 °C (% del volumen por diferencia mín.....	50	60	67	73	78
PRUEBAS EN EL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Penetración (grados)	80 - 120	80 - 120	80 - 120	80 - 120	80 - 120
Ductibilidad en cm (mínimo).....	100	100	100	100	100
Solubilidad en Tetracloruro de carbono, % mínimo.....	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

Fuente: (Teoría de asfaltos)

➤ **ASFALTO DE CURADO MEDIO (MC)**

Asfaltos rebajados de fraguado medio, son cementos asfálticos rebajados o diluidos a una mayor fluidez mezclándolos con destilados del tipo kerosene o el aceite diésel ligero que se evapora a una velocidad relativamente baja, se designa con las letras MC (Medium Curing). Los productos de fraguado medio tienen buenas propiedades humectantes que permiten el revestimiento satisfactorio de los agregados en forma de polvos de graduación fina.

Es aplicado en riegos de impregnación de bases de pavimentos flexibles y de sub-bases de pavimentos rígidos. Excepcionalmente se usan para la construcción de mezclas asfálticas.

Cuadro 3.5 (ASFALTOS DE CURADO MEDIO)

GRADO	RESIDUO ASFALTICO EN VOLUMEN EN %	DISOLVENTE KEROSSENE EN %
MC - 30	50	50
	55	45
MC - 70	55	45
	60	40
MC - 250	60	40
	70	30
MC - 800	75	25
	80	20
MC - 3000	80	20

Fuente: (Pavimentos – Fernando Pineda P.)

Cuadro 3.6 (NORMAS DE CALIDAD PARA ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO MEDIO)

CONCEPTO	GRADO DEL PRODUCTO				
	FM - 0	FM - 1	FM - 2	FM - 3	FM - 4
PRUEBAS EN EL PRODUCTO ORIGINAL					
Punto de ignición mín. (copa abierta de Cleveland, °C)..	38	38	66	66	66
Viscosidad Saybolt-Furoi					
a 25 °C seg.....	75 - 150	-----	-----	-----	-----
a 50 °C seg.....	-----	75 - 150	-----	-----	-----
a 60 °C seg.....	-----	-----	100 - 120	250 - 500	-----
a 82 °C seg.....	-----	-----	-----	-----	125 - 250
Penetración del asfalto básico (grados).....	80 - 100	80 - 100	80 - 100	80 - 100	80 - 100
Destilación: % del total destilado a 360 °C.					
Hasta 225 °C.....	25 máx.	20 máx.	10 máx.	5 máx.	0
Hasta 260 °C.....	40 - 70	25 - 65	15 - 55	5 - 40	30 máx.
Hasta 315 °C.....	75 - 93	70 - 90	60 - 87	55 - 85	40 - 80
Residuo de la destilación a 360 °C (% del volumen por diferencia mín.....	50	60	67	73	78
PRUEBAS EN EL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Penetración (grados)	120 - 300	120 - 300	120 - 300	120 - 300	120 - 300
Ductibilidad en cm (mínimo).....	100	100	100	100	100
Solubilidad en Tetracloruro de carbono, % mínimo.....	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

Fuente: (Teoría de asfaltos)

➤ ASFALTO DE CURADO LENTO

El disolvente o fluidificante es aceite liviano, relativamente poco volátil, y se designa por las letras SC (Slow Curing), son destilados de petróleo con las fracciones volátiles ligeras separadas en gran medida. Los asfaltos de fraguado lento se endurecen o fraguan muy lentamente y se emplean cuando se desea una consistencia casi igual a la del aglutinante mismo, tanto en el momento del tratamiento como después de un período de curación.

Aunque de poco uso en la actualidad, es aplicado en riegos de liga; los SC más usados fueron SC-70 y SC-250.

Cuadro 3.7 (NORMAS DE CALIDAD PARA ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO LENTO)

CONCEPTO	GRADO DEL PRODUCTO				
	FL - 0	FL - 1	FL - 2	FL - 3	FL - 4
PRUEBAS EN EL PRODUCTO ORIGINAL					
Punto de ignición mín. (copa abierta de Cleveland, °C)..	66	66	80	90	107
Viscosidad Saybolt-Furel					
a 25 °C seg.....	75 - 150	—	—	—	—
a 50 °C seg.....	—	75 - 150	—	—	—
a 60 °C seg.....	—	—	100 - 120	250 - 500	—
a 82 °C seg.....	—	—	—	—	125 - 250
Penetración del asfalto básico (grados).....	80 - 100	80 - 100	80 - 100	80 - 100	80 - 100
Destilación: destilado total a 360 °C, % volumen.....	15 - 40	10 - 30	5 - 25	2 - 15	10 máx.
Contenido de asfalto de 100 grados de penetración (Aprox.).....	40 mín.	50 mín.	60 mín.	70 mín.	75 mín.
PRUEBAS EN EL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Flotación a 50 °C seg.....	15 - 100	20 - 100	25 - 100	50 - 125	60 - 150
Ductibilidad en cm (mínimo).....	100	100	100	100	100
Solubilidad en Tetracloruro de carbono, % mínimo.....	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

Fuente: (Teoría de asfaltos)

En cualquiera de los trabajos en que se utilizan los asfaltos rebajados, es condición necesaria para lograr una adherencia adecuada que los materiales pétreos o superficiales a los que se aplican estén secos, lo que puede ser una desventaja en los lugares de clima lluvioso, no obstante que mediante el uso de ciertos aditivos es factible lograr buenos resultados aun cuando los materiales pétreos o superficiales de aplicación estén húmedos.

Dado que la función de los solventes en los asfaltos rebajados es simplemente fluidificar el cemento asfáltico y poder incorporarlo o aplicarlo a los materiales pétreos prácticamente en una consistencia más portable, penetrante y adherente, una vez logrado este objetivo, dichos solventes deben eliminarse en su mayor parte para permitir el trabajo del cemento asfáltico, que es realmente el material que quedara en definitiva como ligante en la obra.

➤ **TEMPERATURA RECOMENDABLE DE APLICACIÓN**

Las temperaturas a las que se recomienda calentar los asfaltos rebajados al momento de su aplicación tienen la doble finalidad de impartirles la adecuada viscosidad para que cubran y mojen convenientemente a los agregados y otras superficies en que se riegan, y para evitar los peligros de incendio a que están muy expuestos dada la volatilidad de los solventes que contienen, sobre todo los rebajados de los tipos CR y CM.

Cuadro 3.8 (TEMPERATURAS RECOMENDABLES DE APLICACIÓN DE ASFALTOS REBAJADOS)

Asfaltos Rebajados de Fraguado Rápido	FR - 0:	de 20 °C	a	40 °C
	FR - 1:	de 30 °C	a	50 °C
	FR - 2:	de 40 °C	a	60 °C
	FR - 3:	de 60 °C	a	80 °C
	FR - 4:	de 80 °C	a	100 °C
Asfaltos Rebajados de Fraguado Medio	FM - 0:	de 20 °C	a	40 °C
	FM - 1:	de 30 °C	a	60 °C
	FM - 2:	de 70 °C	a	85 °C
	FM - 3:	de 80 °C	a	95 °C
	FM - 4:	de 90 °C	a	100 °C
Asfaltos Rebajados de Fraguado Lento	FL - 0:	de 20 °C	a	40 °C
	FL - 1:	de 30 °C	a	45 °C
	FL - 2:	de 75 °C	a	85 °C
	FL - 3:	de 85 °C	a	95 °C
	FL - 4:	de 95 °C	a	100 °C

Fuente: (Teoría de asfaltos)

❖ ASFALTOS EMULSIFICADOS

➤ EMULSIONES ASFÁLTICAS

Son parte de los asfaltos líquidos, es un sistema heterogéneo de dos fases normalmente inmiscibles (no se mezclan), como son el asfalto y el agua, al que se le incorpora una pequeña cantidad de un agente activador de superficie, tenso activó o emulsificante de base jabonosa o solución alcalina, que mantiene en dispersión el sistema, siendo la fase continua el agua y la discontinua los glóbulos del asfalto, en tamaño, entre uno a diez micrones.

El asfalto es emulsificado en un molino fluido con 40 - 50% por peso de agua que contiene entre 0.5 y 1.5% por peso de emulsificante. Permite la aplicación del asfalto donde no es posible calentar el material. Cuando la emulsión se pone en contacto con el agregado se produce un desequilibrio que la rompe, llevando a las partículas del asfalto a unirse a las superficies del agregado. El agua fluye o se evapora, separándose de las partículas pétreas recubiertas por el asfalto. Existen emulsificantes que permiten que esta rotura sea instantánea y otros que retardan éste fenómeno. Las emulsiones asfálticas deben tener una buena adherencia. Esta cualidad la confiere el emulsificante, que puede darle polaridad negativa o positiva, tomando el nombre de aniónicas, las primeras, afines a los áridos de cargas positivas y catiónica, las segundas, afines a áridos de cargas negativas; como son las de origen cuarzoso o silíceo.

De acuerdo con la velocidad de rotura, las emulsiones asfálticas pueden ser:

- **DE ROMPIMIENTO RÁPIDO: RS (RAPID SETTING)**

Estas se utilizan para riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos (con excepción de la emulsión conocida como ECR-60), la cual no se debe utilizar en la elaboración de estas últimas.

- **DE ROMPIMIENTO MEDIO. MS (MEDIUM SETTING)**

Estas normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, especialmente cuando el contenido de finos es menor o igual al 2%, así como en trabajos de conservación tales como bacheos, renivelaciones y sobrecarpetas.

- **DE ROMPIMIENTO LENTO. SS (SLOW SETTING)**

Estas se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas. Sirven especialmente para una máxima estabilidad de mezclado. Se las emplea para dar un buen acabado con agregados compactos y asegurar una buena mezcla estabilizada. El tipo de emulsión a utilizar depende de varios factores, tales como las condiciones climáticas durante la construcción, tipos de agregados, etc.

- **EMULSIÓN ASFÁLTICA INVERSA**

Emulsión asfáltica en la que la fase continua es asfalto de tipo líquido, y la fase discontinua está constituida por diminutos glóbulos de agua en porción relativamente pequeña. Este tipo de emulsión puede ser también aniónica o catiónica.

❖ ASFALTOS OXIDADOS

Los asfaltos soplados u oxidados se producen cuando se hace pasar aire a través de los materiales asfálticos calientes, esto con el fin de darle las características necesarias para ciertos usos especiales. Tienen punto de reblandecimiento superior a los asfaltos normalmente refinados de penetración comparable, lo que los hace adecuados para revestimientos de techos y otras aplicaciones similares.

Su uso en carreteras está limitado en gran medida a la impermeabilización de estructuras y al relleno de juntas de los pavimentos de concreto hidráulico.

❖ ASFALTOS MODIFICADOS

Los materiales asfálticos modificados son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto de un polímero, sustancia que es estable en el tiempo y a cambios de temperatura que se añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y reológicas disminuir su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación.

El propósito de modificar el asfalto es el de incrementar su desempeño en términos de rangos de temperatura y tolerancia al esfuerzo, mediante la modificación del balance en su comportamiento visco-elástico a través del rango de temperaturas de aplicación y servicio. La modificación de asfalto es una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías. esta técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito (peso vehicular).

Con los asfaltos modificados se pretende contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes (ahuellamiento), disminuir el fisuramiento por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga, aumentando su elasticidad. Finalmente se debe contar con un ligante de mejores características adhesivas. Los asfaltos modificados se deben aplicar, en aquellos casos específicos en que las propiedades de los ligantes tradicionales son insuficientes para cumplir con éxito la función para la cual fueron encomendados, es decir, en mezclas para pavimentos que están sometidos a sollicitaciones excesivas, ya sea por el tránsito o por otras causas como: temperaturas extremas, agentes atmosféricos, tipología del firme, etc. si bien los polímeros modifican las propiedades reológicas de los asfaltos, estos deben mostrar ventajas en servicio.

3.10. CURADO EN UN ASFALTO LÍQUIDO

Proceso de evaporación de los disolventes que contiene, este se inicia inmediatamente el asfalto líquido se expone a los agentes atmosféricos y se da por terminado cuando se ha evaporado el máximo disolvente; ya que una pequeña proporción de este queda incorporado en el asfalto permanentemente. A este proceso se debe que el producto final de un asfalto líquido es un cemento asfáltico, de mayor penetración, siendo las variables que afectan al curado: Temperatura ambiente, Velocidad del viento, Superficie del ligante expuesta, Esfuerzos mecánicos, Características mineralógicas del agregado pétreo, Sistema utilizado en la elaboración de la mezcla asfáltica.

3.11. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS ASFALTOS

La mayoría de ensayos para la caracterización de los cementos asfálticos son utilizados en la caracterización de asfaltos líquidos, tales como Punto de inflamación, Viscosidad Cinemática, Destilación, Agua por destilación. Aunque también los hay en la

caracterización de los residuos de la destilación, tales como Penetración, Flotación, Ductilidad y solubilidad.

❖ ENSAYO DE VISCOSIDAD

La finalidad del ensayo de viscosidad es determinar el estado de fluidez de los asfaltos a las temperaturas que se emplean durante su aplicación. La viscosidad se mide en el ensayo de viscosidad Saybolt-Furol para cementos asfálticos y asfaltos líquidos (Unidad: Segundo Universales Saybolt), viscosidad absoluta a 60°C (Unidad: Poises) o en el ensayo de viscosidad cinemática a 135°C (Unidad: Centistokes). La viscosidad de un cemento asfáltico a las temperaturas usadas en el mezclado (normalmente 135°C) se mide con viscosímetros capilares de flujo inverso o viscosímetros Saybolt, aunque también se hace la prueba en asfaltos diluidos a 60°C; la viscosidad absoluta y dinámica, a las temperaturas altas en servicio 60°C y 135°C, generalmente se mide con viscosímetros capilares de vidrio al vacío de diversa índole.

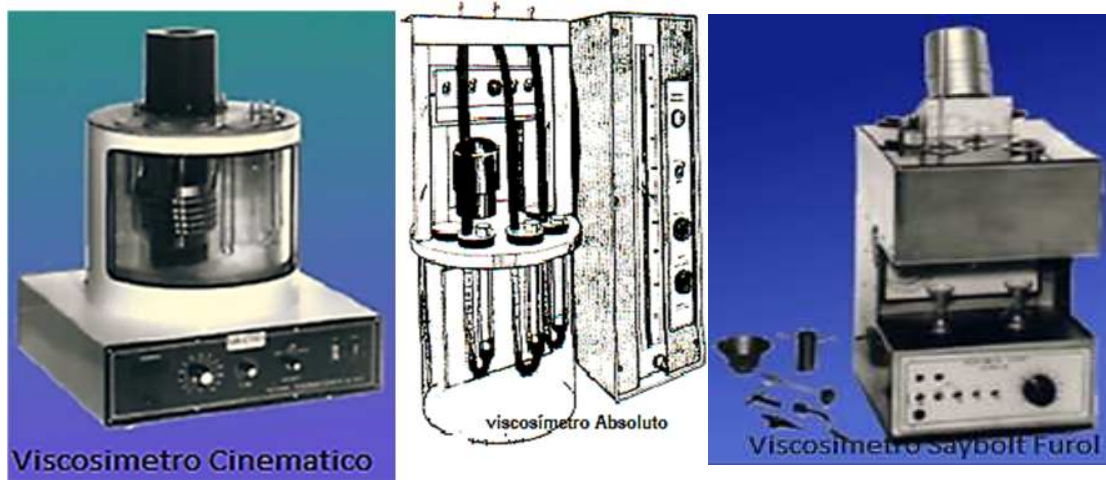
En el ensayo Saybolt-Furol se emplea un viscosímetro Saybolt con orificio Furol. Se coloca en un tubo normalizado cerrado con un tapón de corcho una cantidad específica de asfalto. Como las temperaturas a que se determina la viscosidad son frecuentemente superiores a los 100 °C, el baño de temperatura constante del viscosímetro se llena con aceite; pero si se hace la prueba con un asfalto líquido a 60°C, en éste caso, sí se puede utilizar agua. Cuando el asfalto ha alcanzado una temperatura establecida, se quita el tapón y se mide, en segundos, el tiempo necesario para que pasen a través del orificio Furol 60 ml del material. Los valores obtenidos se expresan como Segundos Universales Saybolt-Furol (SUSF).

Para el ensayo de viscosidad absoluta a 60°C se emplea un viscosímetro de tubo capilar. Se calibran con aceites normalizados. Para cada viscosímetro se obtiene un "factor de calibración", cuyo uso se describe luego. Generalmente, los viscosímetros vienen calibrados por el fabricante quien suministra estos factores. El viscosímetro se monta en un baño de agua a temperatura constante, controlado termostáticamente. Se vuelca asfalto precalentado en el tubo grande hasta que alcanza el nivel de la línea de llenado. El viscosímetro lleno se mantiene en el baño por un cierto tiempo hasta que el sistema alcance la temperatura de equilibrio de 60°C. Se aplica un vacío parcial en el tubo pequeño para inducir el flujo, porque el cemento asfáltico a esta temperatura (60°C) es muy viscoso para fluir fácilmente a través de los tubos capilares del viscosímetro. También se conecta al sistema una bomba de vacío. Luego del baño, viscosímetro y el asfalto se han estabilizado en 60°C, se aplica vacío y se mide con un cronómetro el tiempo, en segundos, que tarda el cemento asfáltico en fluir entre dos de las marcas. Multiplicando este tiempo por el factor de calibración del viscosímetro se obtiene el valor de la viscosidad en poises, la unidad patrón para medir viscosidad absoluta.

Los cementos asfálticos para pavimentación son lo suficientemente fluidos a 135°C para fluir a lo largo de tubos capilares bajo fuerzas gravitacionales únicamente. Por lo tanto, se usa un tipo distinto de viscosímetro (viscosidad cinemática), ya que no se requiere vacío. El más usado es el viscosímetro de brazos cruzados Zeitfuchs. También se lo calibra con aceites normalizados. Como estos ensayos se hacen a 135°C, para el baño se requiere un aceite claro apropiado. Se monta el viscosímetro en el baño y se vuelca el asfalto en la abertura mayor hasta que llegue a la línea de llenado. Como antes, se deja que el sistema alcance la temperatura de equilibrio. Para que el asfalto comience a fluir por el sifón que está justo encima de la línea de llenado, es necesario aplicar una pequeña presión en la abertura mayor o un ligero vacío en la menor. Entonces el asfalto fluirá hacia abajo en la sección vertical del tubo capilar debido a la gravedad. Cuando el asfalto

alcanza la primera de las marcas se comienza a medir el tiempo hasta que alcanza la segunda. El intervalo de tiempo, multiplicado por el factor de calibración del viscosímetro, da la viscosidad cinemática en centistokes.

Figura 3.3 (EQUIPOS DE VISCOSIDAD)



Fuente: (Teoría de asfaltos)

❖ ENSAYO PARA DETERMINAR DEL PUNTO DE INFLAMACIÓN

Su objetivo es manejar con seguridad el producto durante el proceso de calentamiento, para los MC se utiliza la copa abierta Cleveland y para los RC y SC la copa abierta de Tag. A diferencia del ensayo para cementos asfálticos la copa debe ser de vidrio y no de metal (Bronce), además se calienta en un baño de agua y no con llama directa. Los asfaltos al alcanzar su punto de inflamación, despiden vapores que en contacto con el oxígeno pueden provocar reacciones.

Figura 3.4 (EQUIPO DE ENSAYO PUNTO DE INFLAMACIÓN)

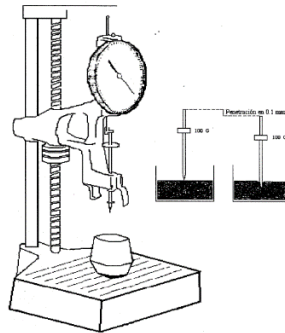


Fuente: (Teoría de asfaltos)

❖ ENSAYO DE PENETRACIÓN EN CEMENTOS ASFÁLTICOS

Nos ayuda a determinar la consistencia de los cementos asfálticos, mediante la penetración vertical de una aguja en una muestra de dicho material bajo condiciones establecidas de peso, tiempo y temperatura; la profundidad a la que penetra la aguja mencionada se mide en décimos de milímetro.

Figura 3.5 (APARATO DE PENETRACIÓN)

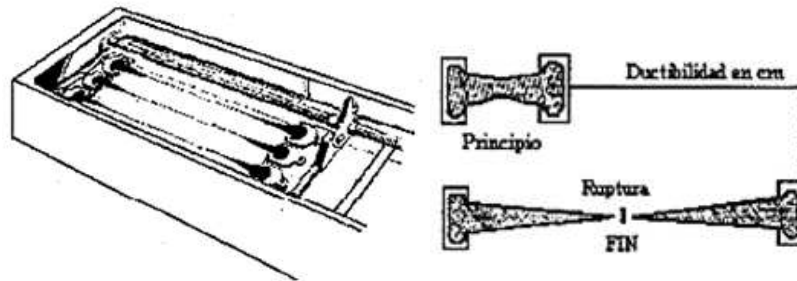


Fuente: (Teoría de asfaltos)

❖ ENSAYO DE DUCTILIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO

La ductilidad de los cementos asfálticos es medida por la máxima distancia a la cual una brigueta de características específicas puede ser estirada sin romperse, bajo condiciones de temperatura y velocidad de deformación establecidas.

Figura 3.6 (DUCTILÓMETRO)

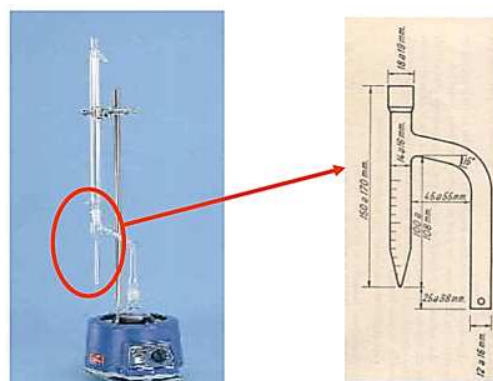


Fuente: (Teoría de asfaltos)

❖ ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE AGUA

Su objetivo es determinar la cantidad de agua presente en los asfaltos líquidos, ya que contenidos altos de agua pueden producir espuma durante el calentamiento generando un alto riesgo para el operador. Se coloca un determinado volumen de ligante en una retorta de vidrio o metal y se le adiciona nafta, a la retorta se le adiciona un condensador que evacua en un colector graduado. Al calentar la retorta, el agua contenida en la muestra es recogida en el colector; permitiendo así leer su contenido y expresarlo en porcentaje del volumen de la muestra original.

Figura 3.7 (EQUIPO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE AGUA)

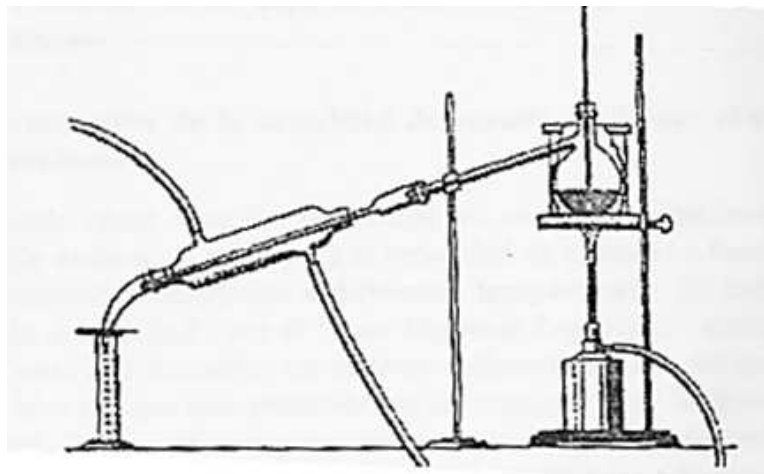


Fuente: (Teoría de asfaltos)

❖ ENSAYO DE DESTILACIÓN

Su objetivo es determinar la proporción y características de los disolventes que contiene un asfalto líquido. Se utiliza para determinar las cantidades de disolventes destilados a distintas temperaturas, estudiando así sus características de evaporación y velocidades de curado. Terminada la destilación se obtiene un residuo asfáltico el cual no es igual al que queda después del curado; aunque tiene características similares. Este residuo es llamado cemento asfáltico residual. Se coloca 200 ml de asfalto líquido en un matraz de destilación el cual está conectado a un condensador. Se calienta gradualmente y se recoge el disolvente en probetas graduadas a las temperaturas de 160, 175, 190, 225, 260, 316 y 360C°. Cuando se alcanzan los 360C° se mide la cantidad de residuo y se expresa en porcentaje volumétrico de la muestra original.

Figura 3.8 (EQUIPOS DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE DISOLVENTES)



Fuente: (Teoría de asfaltos)

3.12. PRODUCTOS ASFÁLTICOS

- ❖ **ROCA ASFÁLTICA:** roca porosa como arenisca o caliza, que se ha impregnado con asfalto natural a lo largo de su vida geológica.
- ❖ **ASFÁLTICO DE IMPRIMACIÓN:** asfalto líquido de baja viscosidad que penetra en una superficie no bituminosa cuando se aplica a ella.
- ❖ **PINTURA ASFÁLTICA:** producto asfáltico líquido que a veces contiene pequeñas cantidades de otros materiales como negro de humo, polvo de aluminio y pigmentos minerales.
- ❖ **GILSONITA:** tipo de asfalto natural duro y quebradizo que se presenta en grietas de rocas o filones de los que se extrae.
- ❖ **FLUXANTE O ACEITE FLUXANTE:** fracción de petróleo relativamente poco volátil empleada en ocasiones para ablandar el asfalto hasta la consistencia deseada; frecuentemente se emplea como producto básico para la fabricación de materiales asfálticos para revestimientos de cubiertas.

3.13. USOS DEL ASFALTO

Como el asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes, presenta las propiedades ideales para la construcción de pavimentos cumpliendo las siguientes funciones:

- ❖ **IMPERMEABILIZAR LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO:** haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.

- ❖ **ÍNTIMA UNIÓN Y COHESIÓN ENTRE AGREGADOS:** capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos. Igualmente mejora la capacidad portante de la estructura, permitiendo disminuir su espesor.

3.14. APLICACIONES MÁS COMUNES DEL ASFALTO PARA PAVIMENTOS

Los riegos asfálticos consisten en la colocación de productos asfálticos líquidos y se clasifican según el tipo de superficie y la aplicación que se haga posteriormente.

3.14.1. TIPOS DE RIEGOS

- ❖ **IMPRIMACIÓN:** es un riego asfáltico sobre la superficie de una base granular estabilizada, antes de la ejecución de cualquier revestimiento asfáltico, con el propósito de proveer la suficiente adherencia entre la base y la capa superior, aumentar la cohesión de la superficie de la base ligando las partículas sueltas en la superficie y otorgar un grado de impermeabilización temporal.

- ❖ **RIEGO DE LIGA:** es un riego sobre una superficie asfáltica o de hormigón, para producir adherencia entre esa capa y el revestimiento asfáltico que la cubrirá.

- ❖ **SELLO DE NEBLINA (FOG SEAL):** Es un riego sobre una capa asfáltica de rodado o tratamiento superficial, para sellar pequeñas fisuras y poros, mejorar la retención de los áridos y uniformar el color superficial.

- ❖ **IMPRIMACIÓN REFORZADA:** consiste en el mejoramiento de la base granular, ya sea para recibir una aplicación asfáltica de terminación o para que sirva como superficie de rodado más económica.

3.14.2. ASFALTOS UTILIZADOS Y SU APLICACIÓN EN RIEGO

Para **imprimaciones** se utilizan asfaltos cortados de baja viscosidad del tipo curado medio MC-30 y MC-70 y emulsiones especiales.

Las bandas de viscosidad recomendadas para el riego con asfaltos cortados son de 20 a 60 segundos Saybolt Furol, resultando generalmente en temperaturas entre 40 °C a 70 °C y tasas de aplicación entre 0,6 a 1,5 L/m².

Estas tasas de aplicación para los asfaltos cortados, dependen de la textura de la base y otras condiciones tales como humedad, contenido de finos, composición mineral, etc.

Para **Riegos de Liga** se realizará con cemento asfáltico AC 60-70 o AC 85-100 aplicado entre 110° y 150°C, asfalto disuelto de curado rápido, RC-250 aplicado entre 70° y 100°C, de MC-70 o con emulsión asfáltica catiónica estabilizada de rotura rápida aplicada a temperatura ambiente o también emulsiones de quiebre lento, diluidas en 1:1 a 1:2 partes de agua, a temperatura ambiente, en dosis entre 0,4 a 1,0 L/m².

Para **Riegos de Neblina** se utilizan emulsiones de quiebre lento del tipo, diluidas en 1:1 a 1:5 partes de agua dependiendo del grado de desgaste de la superficie, a temperatura ambiente, en dosis entre 0,4 a 0,7 L/m².

Para **Imprimaciones Reforzadas** el procedimiento consiste en preparar la base en el espesor total y compactar hasta un 90% de la DMCS (Densidad Máxima Compacta Seca). Se utilizan asfaltos cortados del tipo MC-30 o MC-70 con dosis entre 0,8 y 1,5 L/m² para la primera aplicación. Enseguida se compacta la base a niveles de 95% de la DMCS y se realiza una segunda aplicación de asfalto cortado tipo RC-250 o emulsiones asfálticas de quiebre rápido tipo CRS-2, a razón de 1,0 a 1,5 L/m², sobre la cual se esparce una capa de arena en dosis aproximadas de 8 a 11 kg/m².

3.14.3. EQUIPOS PARA EJECUCIÓN PARA LOS TIPOS DE RIEGO

El equipo mínimo para la ejecución de los riegos mencionados, es el siguiente:

- ❖ **DISTRIBUIDOR:** Se utiliza para la aplicación uniforme del producto asfáltico y consiste generalmente en un camión estanque equipado con barra esparcidora regulable, bomba reguladora de presión, tacómetro, termómetro y en general todo el equipamiento que permita controlar una aplicación uniforme, para las dosis recomendadas. Para obras menores se podrá usar un equipo distribuidor manual.
- ❖ **BARREDORA:** Se utiliza para la limpieza o barrido del polvo y material suelto de la superficie. Esta puede ser una barredora mecánica o barredora común cuando la ejecución se efectúa manualmente en obras menores. También puede usarse equipo de aire comprimido.

3.15. RECOMENDACIONES GENERALES PARA TIPOS DE RIEGO

La temperatura de aplicación de los materiales asfálticos debe fijarse en función de la relación temperatura-viscosidad para cada tipo de ligante. Debe escogerse la temperatura que proporcione una mejor viscosidad para el esparcimiento del ligante.

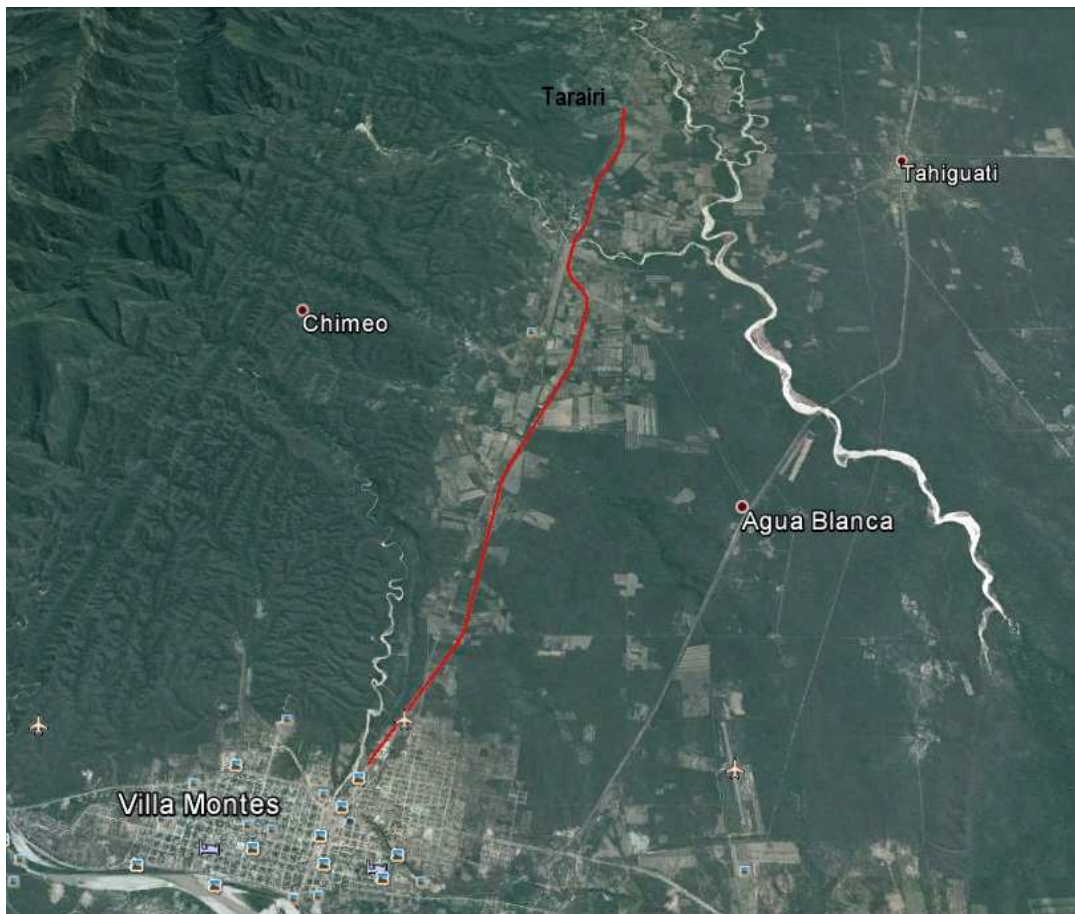
Para imprimaciones con asfaltos cortados, generalmente se recomienda que el contenido de humedad de la base no exceda el 50% de la humedad óptima de compactación, que según el tipo de base podrá llegar hasta un 100% de dicha humedad. Se recomienda además no dejar las superficies imprimadas sin revestir por períodos prolongados, para evitar daños y posteriores reparaciones. No es recomendable aplicar riegos cuando existe amenaza de lluvia o la temperatura sea inferior a 5°C.

Se debe efectuar una limpieza adecuada sobre la zona de aplicación del riego, con equipos como barredoras y aire comprimido. En todos los tipos de riegos se debe evitar la formación de pozos o exceso de ligante acumulado sobre la superficie de la base o capa asfáltica. En caso que esto ocurra, es necesario eliminarlas pues de lo contrario el exceso retardará el curado del material asfáltico y perjudicará el revestimiento posterior, con consecuencias tales como exudaciones, desprendimiento u ondulaciones en el revestimiento que se colocará.

4.1. UBICACIÓN DEL TRAMO.

4.1.1. COORDENADAS GEOGRÁFICAS Y UTM.

Figura 4.1 (TRAMO CARRETERO VILLA MONTES - TARAIRI)

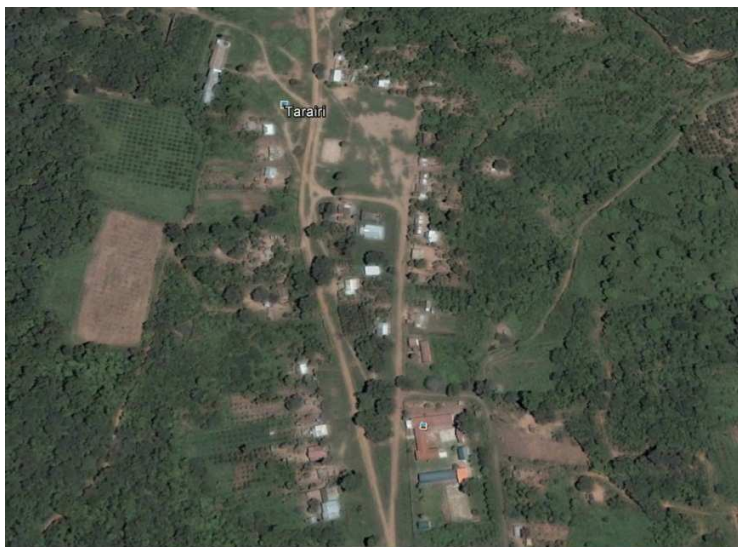


Fuente: GOOGLE EARTH

Villa Montes es un municipio y ciudad del sur de Bolivia, ubicado en el Departamento de Tarija, dentro de la primera región autónoma de Bolivia, el Gran Chaco. Está ubicada en las laderas de la Serranía del Aguaragüe.

El municipio de Villa Montes, es la Tercera Sección de la provincia Gran Chaco a 390 m sobre el nivel de mar, se encuentra ubicado estratégicamente al noreste del departamento de Tarija. Se encuentra ubicado entre las coordenadas 21°15'39.55" Latitud SUD y 63°28'33.78" Longitud OESTE y sus coordenadas UTM MB45. Limita al norte con el departamento de Chuquisaca, al sur con el Municipio de Yacuiba y la Republica de la Argentina, al este con Paraguay y al oeste con la Provincia O'Connor del departamento de Tarija. Cuenta con una superficie de 11300 km².

Figura 4.2 (COMUNIDAD TARAIRI)



Fuente: GOOGLE EARTH

La localidad de Tarairi se encuentra a una altitud de 974 metros sobre el nivel del mar, cuyas coordenadas son 21°5'37.69" LATITUD SUD y 63°25'31.47" LONGITUD OESTE y en coordenadas UTM es MB56; ubicada a 14km de Villamontes red vial fundamental N°9 hacia Boyuibe.

❖ RELACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN CON EL TRAMO DE APLICACIÓN

En el tramo Villa Montes – Tarairi se procedió a un proceso de recapamiento asfáltico, debido al reflejo de fisuras ocasionado por la fatiga, ya que el pavimento al ser sometido a cargas sufre una deformación elástica, (se recupera al retirar la carga), que genera tracciones por lapsos muy cortos, las que debido a la frecuencia con que se repiten producen un fatigamiento del material. Ello significa que, con el tiempo, las sollicitaciones comienzan a superar el límite elástico de la estructura y las cargas producen deformaciones no elásticas o permanentes, para finalmente alcanzar la rotura.

La solución a dicho problema fue la inclusión de una interfaz viscoelástica, conformada por un geotextil No Tejido Mactex REPAV60.2 de MACCAFERRI saturado con Cemento Asfáltico de Petróleo (CAP) de BETUNEL a 60°C, entre la carpeta antigua y nueva de concreto asfáltico.

El geotextil No Tejido Mactex REPAV60.2 de MACCAFERRI, es un material fabricado por procesos de punzonamiento de fibras de polímeros sintéticos (polipropileno), garantizando así; el espesor constante en todo el plano del material, a mayor espesor mayor cantidad de fibras de polipropileno por tanto mayor peso por unidad de área (gramaje gr/m²), a mayor gramaje mayor volumen total del material y así mayor volumen de vacíos o poros en el material, convirtiendo a este material geotextil No Tejido en un contenedor de asfalto por excelencia.

Del tramo de estudio, solo obtuvimos un muestreo del material geotextil No tejido Mactex REPAV60.2 de MACCAFERRI y Cemento Asfáltico de Petróleo (CAP) de BETUNEL por gentileza de la Empresa Constructora GMG en el municipio de Villa Montes encargada del proceso de repavimentación, para su empleo en la práctica de Adherencia de Asfaltos en Geotextiles.

4.2. MÉTODO ESTÁNDAR PARA DETERMINAR LA RETENCIÓN DE ASFALTO DE GEOTEXILES USADOS EN REPAVIMENTACIONES ASFÁLTICAS ASTM D-6140, INV E – 911

Esta norma consiste en medir la capacidad de retención asfáltica de los geotextiles de repavimentación la cual se define como el volumen de cemento asfáltico retenido por geotextiles de repavimentación por unidad de área del espécimen después de ser sumergido en cemento asfáltico.

El uso de este método esta dado para establecer un valor índice para proveer criterios estándar y una base para reportes uniformes.

Los especímenes de ensayo son pesados individualmente antes de ser sumergidos en cemento asfáltico. El cemento asfáltico se mantiene a una temperatura específica.

Después de ser sumergidos, los especímenes son colgados para ser secados en horno por un periodo de tiempo especificado en el horno a la misma temperatura. Después de haber sido completado el proceso de ser los especímenes sumergidos y secados, cada espécimen es pesado y la retención asfáltica es determinada.

Este método de ensayo se refiere al procedimiento para determinar la retención de asfalto para geotextiles. Geotextiles de repavimentación son usados en un sistema de membrana textil como intercapa en pavimentos previa a la colocación de una capa asfáltica superior.

4.2.1. EQUIPO REQUERIDO PARA LA PRÁCTICA

❖ ESCALA O BALANZA

La balanza debe tener una capacidad y una sensibilidad suficiente para pesar los especímenes con una precisión de ± 0.1 gramos. La precisión de la escala fue certificada por el manual de operación.

Figura 4.3 (BALANZA DE MESA KERN GAB-N)



BALANZA DE MESA "KERN GAB-N"

Modelo	Capacidad	Divisiones
GAB 12K0.1N	12 Kg.	0,1 gr.

Fuente de la Fotografía: (Sistemas de Pesaje y Etiquetado BALANCO)

Esta balanza fue proporcionada por el Laboratorio de Suelos de la "Universidad Autónoma Juan Misael Saracho".

❖ HORNO CONVENCIONAL MECÁNICO

Tiene la capacidad de mantener la temperatura requerida de ensayo con una tolerancia de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ (4°F), ubicado en el laboratorio de Asfaltos de la "Universidad Autónoma Juan Misael Saracho".

Figura 4.4 (HORNO CONVENCIONAL MECÁNICO CONTROLS)



Fuente de la Fotografía: (Manual CONTROLS-Horno Modl. 10-D1396, 10-D1397, 10-D1398)

El horno convencional mecánico fue proporcionado por el Laboratorio de Asfaltos de la "Universidad Autónoma Juan Misael Saracho".

4.2.2. MATERIAL REQUERIDO PARA LA PRÁCTICA

En los materiales geotextiles no Tejidos punzonados por agujas fabricados de fibras de polipropileno y asfaltos empleables en el ensayo de adherencia, se distinguen dos términos diferentes e interrelacionados entre sí: adherencia y retención. Se entiende que si el material geotextil No Tejido presenta mayor espesor, por consiguiente tendrá mayor cantidad de fibras de polipropileno en su estructura. Por tanto tendrá mayor volumen total y gracias a esto mayor volumen de vacíos o poros. Debe tomarse en cuenta que las fibras de polipropileno del geotextil (apto para repavimentación) tienen un punto (temperatura) de fusión o ablandamiento máximo de 150 – 250°C según el modelo de geotextil, por tanto si se supera esta temperatura el geotextil No Tejido tendera a desintegrarse o perder sus propiedades de resistencia, tornándose inutilizable.

El ligante asfáltico empleado vendrá a albergarse en este volumen de vacíos o poros, dependiendo de su capacidad como adherente en las fibras de polipropileno del geotextil no tejido, ahora si este ligante asfáltico presenta un comportamiento de adherencia ideal, se deduce que una mayor cantidad de asfalto quedara adherida en las fibras del material, por tanto una mayor cantidad de asfalto quedara contenido o retenido en el cuerpo del material geotextil NoTejido debido a su porosidad; ya que a mayor capacidad de adherencia del asfalto en las fibras de polipropileno, mayor será su capacidad de retención o contención en el cuerpo del geotextil No tejido debido a la porosidad del mismo, actuando como un contenedor de asfalto. Por tanto el conjunto adherencia geotextil No Tejido/Asfalto más eficiente desde el punto de vista de retención provendrá de que ambos materiales proporcionen las mejores condiciones respecto a adherencia y contención, ya sea de parte del geotextil con una porosidad mayor al 80% (en base a su gramaje y espesor) y por parte del asfalto con su mejor capacidad de adherencia en las fibras del material geotextil.

Una de las normas constructivas internacionales para repavimentación, (Task Force 25, compuesta por la AASHTO, la AGC y la ARTBA) que ha tenido la mayor aceptación por parte de los ingenieros viales en todo el mundo, exige que como mínimo la cantidad de cemento asfáltico para saturar el geotextil debe ser de 0.9 L/m² y como valor máximo 2 L/m² (suponiendo que si se obtienen valores mayores de retención se deberá a que sus propiedades de consistencia y ductilidad del asfalto fueron afectadas por el excesivo número de calentamiento que tuvo el material tornándolo inservible), esta es una de las razones por las cuales el geotextil a usarse debe ser un no tejido punzonado por agujas, gracias a su espesor, gramaje y porosidad que le permiten alojar tal cantidad de asfalto (*Manual y software de diseño – PAVCO*).

❖ **MUESTREO DE GEOTEXTIL:**

➤ **GEOTEXTIL NT 7000 –PAVCO**

Figura 4.5 (GEOTEXTIL NT7000 – PAVCO)



Fuente de la fotografía: (Fuente personal)

El geotextil NT 7000 de PAVCO S.A.; es de fabricación Colombiana, es un material permeable con cinco funciones principales; separación, refuerzo, filtración, drenaje y protección. Aplicables a diversas obras de ingeniería, cuyas propiedades físicas

(Espesor de 3,2 mm; Gramaje promedio calculado de 210 gr/m²; Porosidad promedio calculada de 90,50%) y mecánicas están garantizadas por el fabricante en las especificaciones técnicas del material presentes en los anexos. El muestreo de este material fue obtenido por gentileza de la empresa constructora PAULA SRL en el Municipio de Villa Montes. Describe el fabricante, este es un Geotextil No Tejido de polipropileno, conformado por un sistema de fibras entrelazadas por un proceso de punzonado por agujas fabricado en base de fibras sintéticas (polipropileno). Es altamente resistente a la degradación biológica y química, que normalmente se encuentra en los suelos. El punto (temperatura) de reblandecimiento o pérdida de resistencia del material no fue tomado en cuenta en su diseño debido a que se supone que solo debe exponerse a máximas temperaturas del ambiente del lugar de aplicación (50°C) en sus aplicaciones mencionadas con anterioridad.

➤ **GEOTEXTIL MACTEX REPAV40.2 DE MACCAFERRI**

Figura 4.6 (GEOTEXTIL MACTEX REPAV40.2 DE MACCAFERRI)



Fuente de la fotografía: (Fuente personal)

El geotextil No Tejido de polipropileno **Mactex REPAV40.2 DE MACCAFERRI**; de fabricación Brasileira, es un material permeable. Al estar diseñado exclusivamente para su empleo en repavimentación demostrado en sus propiedades físicas (Espesor 3,3 mm; Gramaje promedio calculado de 210 g/m²; Porosidad promedio calculada de

93,49%) en general este material debe actuar como un contenedor de asfaltos es decir debe poseer una baja permitividad normal a su plano y baja transmisibilidad en su plano por parte del asfalto, una vez saturado en asfalto su comportamiento sería la de una membrana viscoelastoplastica cuyas funciones serían las de: **Barrera Impermeabilizadora y Membrana Amortiguadora de Esfuerzos**. El muestreo de este material fue obtenido por gentileza de la empresa constructora GMG en el Municipio de Villa Montes. El punto (temperatura) de reblandecimiento o pérdida de resistencia del material máximo es de 150°C es decir que si el ligante asfáltico empleado supera esta temperatura en su aplicación, el material geotextil tendera a desintegrarse o perder su capacidad de resistencia tornandose inutilizable en general.

➤ **GEOTEXTIL MACTEX REPAV60.2 DE MACCAFERRI**

Figura 4.7 (GEOTEXTIL MACTEX REPAV60.2 DE MACCAFERRI)



Fuente de la fotografía: (Fuente personal)

El geotextil No Tejido de polipropileno **Mactex REPAV60.2 DE MACCAFERRI**; es de fabricación Brasileira, es un material permeable. Al estar diseñada para su empleo exclusivo en repavimentación, demostrado esto en sus características físicas (Espesor 4 mm; Gramaje promedio calculado de 320 gr/m²; Porosidad Promedio calculada de 94,32%), su comportamiento una vez saturado en asfalto sería la de una membrana

viscoelastoplastica cuyas funciones serían las de: **Barrera Impermeabilizadora y Membrana Amortiguadora de Esfuerzos**. El muestreo de este material fue obtenido por gentileza de la empresa constructora GMG en el Municipio de Villa Montes. El punto (temperatura) de reblandecimiento o pérdida de resistencia del material máximo es de 150°C es decir que si el ligante asfáltico empleado supera esta temperatura en su aplicación, el material geotextil tendera a desintegrarse o perder su capacidad de resistencia tornandose inutilizable en general.

❖ MUESTREO DE ASFALTOS

➤ ASFALTO LÍQUIDO FLEXPRIMER



El asfalto líquido FLEXPRIMER es un compuesto 50% Asfalto y 50 % Kerosene (MC-30), convirtiéndolo así en un asfalto líquido de curado medio aplicado en caliente a 40°C. Esta muestra de aproximadamente 4 litros fue proporcionada por la Empresa Constructora GMG en el municipio de Villa Montes. Cuya densidad del producto a 21°C sería de 0.95 gr/cm³.

Cuadro 4.1 (PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL ASFALTO LÍQUIDO)

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	
Aspecto: Fluido a temperatura ambiente.	pH: NP
Color: Marrón oscuro a negro.	Olor: Característico.
Punto de ebullición: > 125 °C	Punto de fusión/congelación:
Punto de inflamación/Inflamabilidad: >= 60°C	Autoinflamabilidad: > 224 °C
Propiedades explosivas: NP	Propiedades comburentes: NP
Presión de vapor:	Densidad: 0.95 a 1.05 g/cm ³ .
Tensión superficial:	Viscosidad:
Densidad de vapor:	Coef. reparto (n-octanol/agua):
Hidrosolubilidad: Insoluble.	Solubilidad: Disulfuro de carbono, cloroformo, éter.

Fuente: (Ficha de datos de seguridad Asfalto líquido FLEXPRIMER)

➤ ASFALTO LÍQUIDO ADP DE STRATURA ASFALTOS



El ADP MC70 (Asfalto Diluido de Petróleo), es un compuesto 60% Asfalto y 40 % kerosene (MC-70), convirtiéndolo así en un asfalto líquido de curado medio aplicado en caliente a 60°C.

Resulta de la dilución del cemento asfáltico por destilados ligeros de petróleo (kerosene), proporcionando productos menos viscosos que pueden ser aplicados a temperaturas más bajas (60°C).

Los diluyentes se evaporan después de la aplicación cuya naturaleza del diluyente utilizado determina la Cura (Media-CM o Rápida-CR). Son empleados, principalmente para superficies con textura cerrada, textura abierta y como ligante asfáltico en repavimentación (En adherencia a Manto Geotextil).

Esta muestra de aproximadamente 8 litros fue proporcionada por la Empresa PETROSUR en el municipio de Villa Montes. Cuya densidad del producto a 21°C sería de 1.035 gr/cm³, dato extraído de las especificaciones técnicas para asfaltos diluidos STRATURA ASFALTOS.

Cuadro 4.2 (ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA ASFALTOS DILUIDOS STRATURA ASFALTOS)

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA ASFALTOS DILUIDOS			STRATURA ASFALTOS	
Características	Unidad	Método	Especificación	
		ABNT	Curado Rápida	Curado Media
			CR 250	CM 70
En el Asfalto Diluido:				
Viscosidad Cinemática a 60°C	cST	NBR-14756	250 a 500	30 a 60
Viscosidad Saybolt Furol	25°C	SSF	NBR-14950	-
	50°C			-
	50°C			125 a 250
Punto de Fulgor (V.A.TAG), mín.	°C	NBR-5765	27	38
Destilación hasta 360° C	190°C	%del volumen	NBR-14856	-
	225°C			35(mín.)
	260°C			60(mín.)
	316°C			80(mín.)
Residuo a 360°C, por diferencia, mín.	%del volumen	NBR-14856	65	60
Agua, máx.	%del volumen	NBR-14236	0,2	0,2
En el residuo de la destilación				
Viscosidad absoluta a 60°C[*]	%del volumen	NBR-5847	600 a 2400	300 a 1200
Bitumen, mín.	%del volumen	NBR-14855	99	99
Ductilidad a 25° C, mín.	CM	NBR-6293	100	100
[*] En los asfaltos diluidos de curados rápido y medio fabricados en las refinerías ASFOR y RLAM permanece el ensayo de penetración 100 g, 5s a 25° C por las normas ABNT NBR-6576 ó ASTM D5. Con límites de 80 a 120 (0,1 mm.) para los asfaltos diluidos de curado rápido y 120 a 250 (0,1 mm.) para los asfaltos de curado medio.				
OBS.: Todos los límites especificados están en valores absolutos de acuerdo con la norma ASTM E29.				
Presentación		Recomendaciones		
Los ADP se suministran a granel en carros tanque o en tambores metálicos de 200 litros.		Durante el manejo, utilice EPI, equipo de protección individual. En caso de accidente, consulte la ficha de Información de Seguridad del Producto (FISP).		

Fuente: (Ficha STRATURA ASFALTOS ADP)

➤ **CEMENTO ASFALTICO DE PETRÓLEO (CAP) 85/100 - BETUNEL**



El Cemento Asfáltico de Petróleo 85/100 de BETUNEL de industria Brasileira, es un semisólido o sólido viscoso a temperatura ambiente, que presenta un comportamiento termoplástico; tornándose líquido bajo calentamiento, para luego retornar a su estado original luego de enfriarse o diluido en disolvente derivado del petróleo para aplicación en obras de ingeniería.

Para el desarrollo de las pruebas de laboratorio presentamos un compuesto 70% Asfalto y 30 %

Diésel (MC-250), convirtiéndolo así en un asfalto líquido de curado medio aplicado en caliente a 135°C.

Esta muestra de aproximadamente 12 litros fue proporcionada por la Empresa Constructora GMG en el municipio de Villa Montes. Cuya densidad del producto a 21°C sería de 0.965 gr/cm³, dato extraído de las especificaciones técnicas para asfaltos diluidos BETUNEL.

Cuadro 4.3 (ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA ASFALTOS DILUIDOS BETUNEL)

Especificações		Downloads		
Características	Un.	Valores	Método	
		CAP 85/100	ABNT/NBR	ASTM
Penetração (100 g, 5s, 25°C)	Dmm	85 - 100	NBR 6576	D 5
Ponto de amolecimento	°C	43	NBR 6560	D 38
Viscosidade Saybolt-Furol				
135°C, mínimo	s	110	NBR 14950	E 102
150°C, mínimo	s	43	NBR 14950	E 102
177°C	s	15 - 60	NBR 14950	E 102
Viscosidade Brookfield				
135°C, SP 21 mín. 20rpm	CP	214	NBR 15184	D 4402
150°C, SP 21 mín.	CP	97	NBR 15184	D 4402
177°C, SP 21	CP	28 - 114	NBR 15184	D 4402
Índice de susceptibilidade térmica (1)		(-1,5) a (+0,7)		
Ponto de fulgo, mínimo	°C	235	NBR 11341	D92
Solubilidade em tricloetileno, mínimo	% massa	99,5	NBR 14855	D 2042
Ductibilidade a 25°C, mínimo	%	100		D 113
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163°C, 85 min (NBR 15235 ou ASTM D 2872)				
Varição em massa, máximo (2)	%	0,5	NBR 15235	D 2872
Ductibilidade a 25°C, mínimo	cm	50	NBR 6293	D 113
Aumento do ponto de amolecimento, máximo	°C	8	NBR 6560	D 38
Penetração retida, mínimo (3)	%	55	NBR 6576	D 5

(1) Índice de susceptibilidade térmica = $(500) (\text{LOG PEN}) + (20) (t^{\circ}\text{C}) - 1951 / 120 - (50) (\text{LOG PEN}) + (t^{\circ}\text{C})$, onde $(t^{\circ}\text{C})$ = Ponto de amolecimento e PEN = Penetração a 25°C, 100g, 5 seg.

(2) Variação em massa, em porcentagem = $(\text{Minicial} - \text{Mfinal}) / \text{Mfinal} \times 10$, onde Minicial = Massa antes do ensaio RTFOT e Mfinal = Massa após RTFOT

(3) Penetração retida = $(\text{PENfinal} / \text{PENinicial}) \times 100$, onde PENinicial = penetração antes do ensaio RTFOT e PENfinal = penetração após o ensaio RTFOT

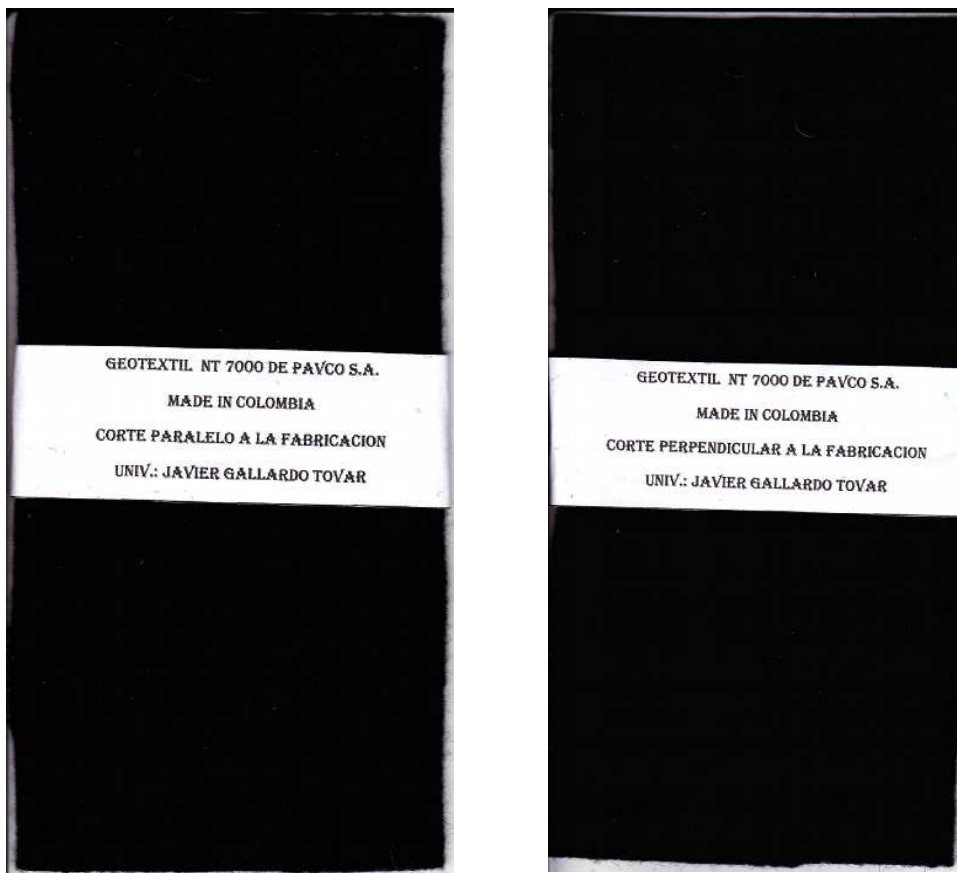
Fuente: (Ficha BETUNEL Tecnología en Asfaltos)

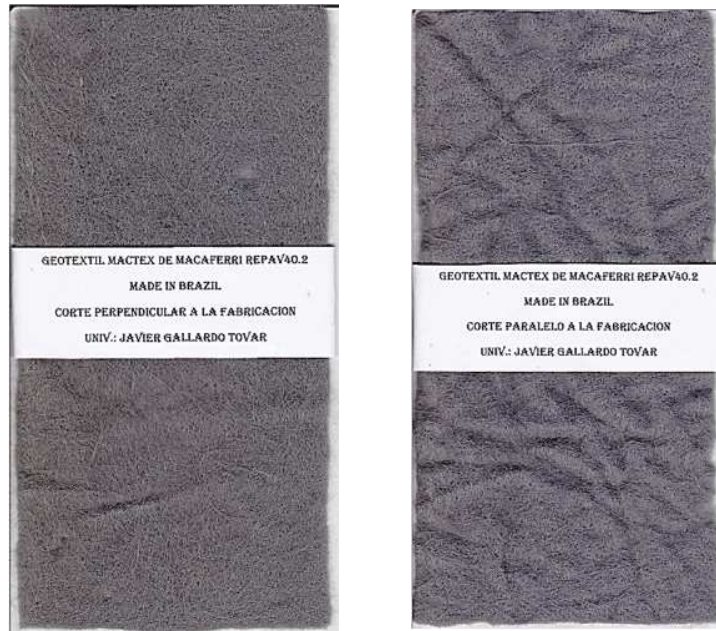
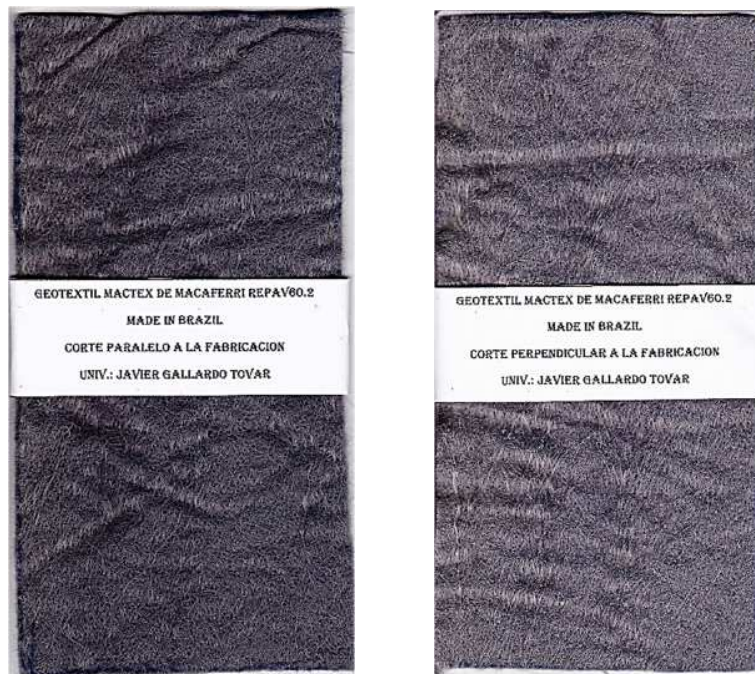
4.2.3. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

- Seleccioné en forma aleatoria tres especímenes en la dirección transversal y longitudinal del sentido de fabricación de la máquina, con una medida de 100 por 200 mm (4 por 8 pulgadas) de la muestra individual de ensayo.

Figura 4.8 (MUESTRAS DE DIVERSOS GEOTEXTILES)

Geotextil NT7000 PAVCO:



Geotextil Mactex REPAV40.2 de MACCAFERRI:**Geotextil Mactex REPAV60.2 de MACCAFERRI:**

Fuente: Imágenes Propias.

- Procedí a pesar cada unidad de las muestras de los diferentes geotextiles en la balanza de precisión 0.1 gr.

Figura 4.9 (BALANZA DE PRECISIÓN 0.1gr EN LABORATORIO DE ASFALTOS UAJMS)



Fuente: Imágenes propias.

Figura 4.10 (PESAJE DE LAS MUESTRAS DE GEOTEXILES)



Fuente: Imágenes propias.

- Introduce el asfalto a calentar en el horno a su temperatura correspondiente durante 1 hora ya sea el **FLEXPRIMER** a 40°C, el **ADP** a 60°C o el **CAP BETUNEL** a 135°C cada asfalto en un ensayo particular de manera independiente.

Figura 4.11 (INTRODUCCION DEL ASFALTO AL HORNO)



Fuente: Imágenes propias.

- A continuación sumergí los especímenes de ensayo en el cemento asfáltico especificado a su temperatura correspondiente durante 30min; ya sea el **FLEXPRIMER (50/50)** a 40°C, el **ADP (60/40)** a 60°C o el **CAP BETUNEL (70/30)** a 135°C; cada asfalto en un ensayo particular de manera independiente dentro del horno convencional mecánico.

El cemento asfáltico no deberá ser usado por más de tres series de ensayos, calentar y enfriar repetidamente puede variar los resultados del ensayo debido al manejo del asfalto.

**Figura 4.12 (INSTRUMENTO DE SUJECIÓN PARA LAS MUESTRAS DE GEOTEXTIL
FABRICADO POR EL UNIVERSITARIO)**



Fuente: Imágenes propias.

**Figura 4.13 (SUJECIÓN DE LAS MUESTRAS DE GEOTEXTILES EN EL INSTRUMENTO
PARA EL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA)**



Fuente: Imágenes propias.

Figura 4.14 (A PUNTO DE SUMERGIR EL INSTRUMENTO CON MUESTRAS DE GEOTEXTILES EN ASFALTO DENTRO DEL HORNO)



Fuente: Imágenes propias.

- Después de la sumersión requerida, colgué los especímenes saturados para que drenen el excedente de asfalto (Longitud mayor vertical) dentro del horno a la misma temperatura de ensayo. Los especímenes de ensayo estuvieron drenando por 30 minutos de un extremo y luego 30 minutos del otro extremo para obtener una saturación uniforme del geotextil (Aunque dependiendo del conjunto adherencia geotextil/asfalto el tiempo de drenado de exceso tuvo variaciones relativas). Antes de cambiar la dirección del colgado de la muestra, coloque dos mordazas en la parte inferior, lo cual hizo más fácil colgar el espécimen. Después de que el espécimen fue asegurado removí la primera mordaza.

Figura 4.15 (SACADO DE MUESTRAS EMBEBIDAS PARA CAMBIAR LA DIRECCIÓN DE COLGADO Y ASÍ SU SATURACIÓN UNIFORME)



Figura 4.16 (SECADO DE GEOTEXILES EMBEBIDOS EN ASFALTO DENTRO DEL HORNO)



Fuente: Imágenes propias.

- Una vez drenado todo el exceso de asfalto de las muestras de geotextiles, saque las muestras del horno y deje que se enfríen por 30 minutos a temperatura ambiente; luego deseche cualquier exceso de cemento asfáltico tales como los goteos en los bordes, después de remover las mordazas que sostenían el espécimen.

Figura 4.17 (MUESTRAS SECAS DE GEOTEXILES A TEMPERATURA AMBIENTE)



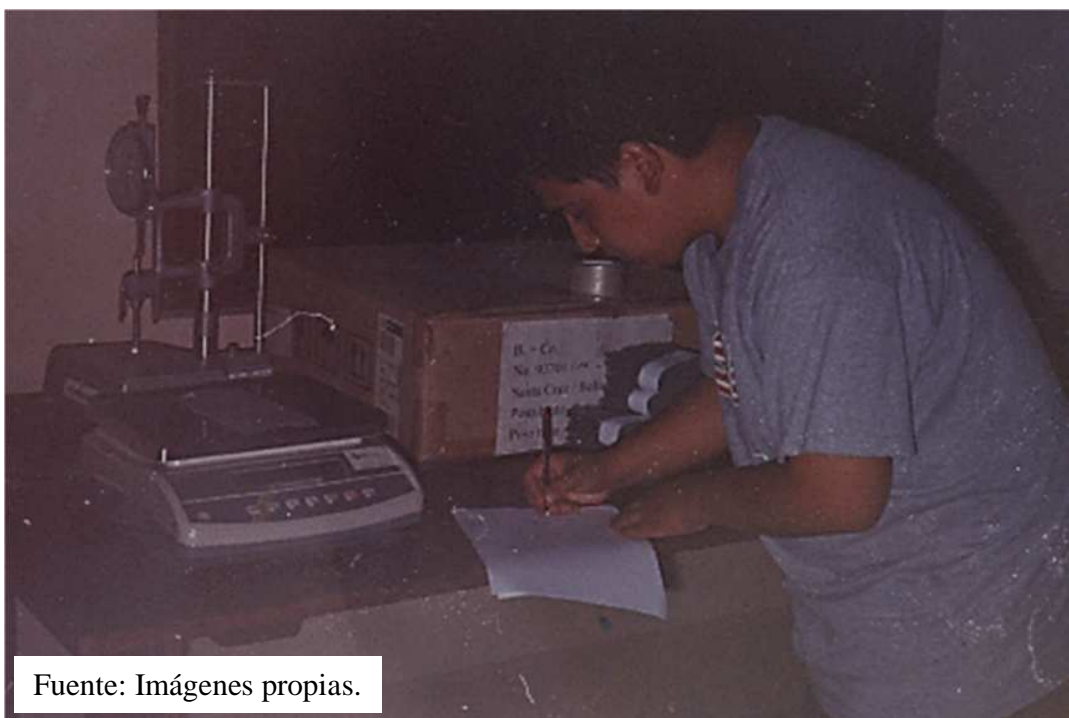
Fuente: Imágenes propias.

- Procedí a pesar los especímenes saturados en la balanza con una precisión de 0.1 gramos.

Figura 4.18 (MUESTRAS SECAS DE GEOTEXILES PARA SU PESADO CORRESPONDIENTE)



Fuente: Imágenes propias.



Fuente: Imágenes propias.

4.2.4. CÁLCULOS DE ADHERENCIA DE ASFALTOS EN GEOTEXILES

4.2.4.1.ASFALTO EMPLEADO: FLEXPIMER

Densidad (21°C) = 0,95 gr/cm³ = 950 gr/l

❖ ADHERENCIA DE ASFALTO LÍQUIDO FLEXPIMER EN GEOTEXTIL MACTEX REPAV40.2 DE MACCAFERRI

AREA DE LA MUESTRA = 0,02 m²

➤ CORTE PARALELO AL SENTIDO DE LA FABRICACIÓN

ANTES DE REALIZAR LA PRUEBA.		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
3,8	4,2	3,7

REALIZADA LA PRUEBA		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
15,1	16,1	14,6

$$Retención = \frac{(wsat - Wi)}{A * Da}$$

W_{sat} = Peso de la muestra saturada en gr.

W_i = Peso de la muestra antes del ensayo de adherencia en gr.

A = Área de la muestra en m².

Da = Densidad del asfalto en gr/l.

CAPACIDAD DE ADHERENCIA L/m ²		
Nº1	Nº2	Nº3
0,601064	0,632979	0,579787

Promedio de la capacidad de adherencia de Asfalto Líquido Flexprimer en Geotextil Mactex REPAV40.2 de Maccaferri en sentido paralelo a la fabricación:

$$\text{Retención Paralela} = 0,6046 \text{ L/m}^2$$

➤ **CORTE PERPENDICULAR AL SENTIDO DE LA FABRICACIÓN**

ANTES DE REALIZAR LA PRUEBA.		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
4,2	3,6	3,9

REALIZADA LA PRUEBA		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
17	17,2	14,7

$$\text{Retención} = \frac{(wsat - Wi)}{A * Da}$$

W_{sat} = Peso de la muestra saturada en gr.

W_i = Peso de la muestra antes del ensayo de adherencia en gr.

A = Área de la muestra en m².

Da = Densidad del asfalto en gr/l.

CAPACIDAD DE ADHERENCIA L/m ²		
Nº1	Nº2	Nº3
0,680851	0,723404	0,574468

Promedio de la capacidad de adherencia de Asfalto Líquido Flexprimer en Geotextil Mactex REPAV40.2 de Maccaferri en sentido perpendicular a la fabricación:

$$\text{Retención Perpendicular} = 0,6596 \text{ L/m}^2$$

**❖ ADHERENCIA DE ASFALTO LÍQUIDO FLEXPIMER EN
GEOTEXTIL MACTEX REPAV60.2 DE MACCAFERRI**

AREA DE LA MUESTRA = 0,02 m²

➤ **CORTE PARALELO AL SENTIDO DE LA FABRICACIÓN**

ANTES DE REALIZAR LA PRUEBA.		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
6,4	6,3	6

REALIZADA LA PRUEBA		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
22,2	24,2	20,3

$$Retención = \frac{(wsat - Wi)}{A * Da}$$

W_{sat} = Peso de la muestra saturada en gr.

W_i = Peso de la muestra antes del ensayo de adherencia en gr.

A = Área de la muestra en m².

Da = Densidad del asfalto en gr/l.

CAPACIDAD DE ADHERENCIA L/m²		
Nº1	Nº2	Nº3
0,840426	0,952128	0,760638

Promedio de la capacidad de adherencia de Asfalto Líquido Flexprimer en Geotextil Mactex REPAV60.2 de Maccaferri en sentido paralelo a la fabricación:

Retención Paralela = 0,8511 L/m²

➤ **CORTE PERPENDICULAR AL SENTIDO DE LA FABRICACIÓN**

ANTES DE REALIZAR LA PRUEBA.		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
6,1	6,1	6,6

REALIZADA LA PRUEBA		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
21,3	23,7	22,2

$$Retención = \frac{(w_{sat} - W_i)}{A * D_a}$$

W_{sat} = Peso de la muestra saturada en gr.

W_i = Peso de la muestra antes del ensayo de adherencia en gr.

A = Área de la muestra en m².

D_a = Densidad del asfalto en gr/l.

CAPACIDAD DE ADHERENCIA L/m²		
Nº1	Nº2	Nº3
0,808511	0,93617	0,829787

Promedio de la capacidad de adherencia de Asfalto Líquido Flexprimer en Geotextil Mactex REPAV60.2 de Maccaferri en sentido perpendicular a la fabricación:

Retención Perpendicular = 0,8582 L/m²

❖ **ADHERENCIA DE ASFALTO LÍQUIDO FLEXPIMER EN GEOTEXTIL NT7000 DE PAVCO**

AREA DE LA MUESTRA = 0,02 m²

➤ **CORTE PARALELO AL SENTIDO DE LA FABRICACIÓN**

ANTES DE REALIZAR LA PRUEBA.		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
4,3	4,3	4,5

REALIZADA LA PRUEBA		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
12,8	11,7	12,2

$$Retención = \frac{(wsat - Wi)}{A * Da}$$

W_{sat} = Peso de la muestra saturada en gr.

W_i = Peso de la muestra antes del ensayo de adherencia en gr.

A = Área de la muestra en m².

Da = Densidad del asfalto en gr/l.

CAPACIDAD DE ADHERENCIA L/m ²		
Nº1	Nº2	Nº3
0,452128	0,393617	0,409574

Promedio de la capacidad de adherencia de Asfalto Líquido Flexprimer en Geotextil NT7000 de Pavco en sentido paralelo a la fabricación:

Retención Paralela = 0,4184 L/m²

➤ **CORTE PERPENDICULAR AL SENTIDO DE LA FABRICACIÓN**

ANTES DE REALIZAR LA PRUEBA.		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
4,9	3,9	3,9

REALIZADA LA PRUEBA		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
14	11,1	11,7

$$Retención = \frac{(wsat - Wi)}{A * Da}$$

W_{sat} = Peso de la muestra saturada en gr.

W_i = Peso de la muestra antes del ensayo de adherencia en gr.

A = Área de la muestra en m².

Da = Densidad del asfalto en gr/l.

CAPACIDAD DE ADHERENCIA L/m²		
Nº1	Nº2	Nº3
0,484043	0,382979	0,414894

Promedio de la capacidad de adherencia de Asfalto Líquido Flexprimer en Geotextil NT7000 de Pavco en sentido perpendicular a la fabricación:

$$Retención Perpendicular = 0,4273 \text{ L/m}^2$$

4.2.4.2. ASFALTO EMPLEADO: ASFALTO DILUIDO DE PETRÓLEO (ADP) DE STRATURA ASFALTOS

Densidad (21°C) = 1,04 gr/cm³ = 1035 gr/l

❖ ADHERENCIA DE ASFALTO LÍQUIDO (ADP) DE STRATURA ASFALTOS EN GEOTEXTIL MACTEX REPAV40.2 DE MACCAFERRI

AREA DE LA MUESTRA = 0,02 m²

➤ CORTE PARALELO AL SENTIDO DE LA FABRICACIÓN

ANTES DE REALIZAR LA PRUEBA.		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
3,8	3,9	3,9

REALIZADA LA PRUEBA		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
34,1	33,4	33,5

$$Retención = \frac{(wsat - Wi)}{A * Da}$$

W_{sat} = Peso de la muestra saturada en gr.

W_i = Peso de la muestra antes del ensayo de adherencia en gr.

A = Área de la muestra en m².

Da = Densidad del asfalto en gr/l.

CAPACIDAD DE ADHERENCIA L/m ²		
Nº1	Nº2	Nº3
1,463768	1,425121	1,429952

Promedio de la capacidad de adherencia de Asfalto Líquido ADP en Geotextil Mactex REPAV40.2 de Maccaferri en sentido paralelo a la fabricación:

$$\text{Retención Paralela} = 1,4396 \text{ L/m}^2$$

➤ **CORTE PERPENDICULAR AL SENTIDO DE LA FABRICACIÓN**

ANTES DE REALIZAR LA PRUEBA.		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
4	3,5	4,1

REALIZADA LA PRUEBA		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
35	31,6	35,2

$$\text{Retención} = \frac{(w_{sat} - w_i)}{A \cdot D_a}$$

w_{sat} = Peso de la muestra saturada en gr.

w_i = Peso de la muestra antes del ensayo de adherencia en gr.

A = Área de la muestra en m².

D_a = Densidad del asfalto en gr/l.

CAPACIDAD DE ADHERENCIA L/m ²		
Nº1	Nº2	Nº3
1,497585	1,357488	1,502415

Promedio de la capacidad de adherencia de Asfalto Líquido ADP en Geotextil Mactex REPAV40.2 de MACCAFERRI en sentido perpendicular a la fabricación:

$$\text{Retención Perpendic.} = 1,4525 \text{ L/m}^2$$

❖ **ADHERENCIA DE ASFALTO LÍQUIDO (ADP) DE STRATURA ASFALTOS EN GEOTEXTIL MACTEX REPAV60.2 DE MACCAFERRI**

AREA DE LA MUESTRA = 0,02 m²

➤ **CORTE PARALELO AL SENTIDO DE LA FABRICACIÓN**

ANTES DE REALIZAR LA PRUEBA.		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
6,4	6,1	6

REALIZADA LA PRUEBA		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
45,9	42,8	41,9

$$Retención = \frac{(wsat - Wi)}{A * Da}$$

W_{sat} = Peso de la muestra saturada en gr.

W_i = Peso de la muestra antes del ensayo de adherencia en gr.

A = Área de la muestra en m².

Da = Densidad del asfalto en gr/l.

CAPACIDAD DE ADHERENCIA L/m ²		
Nº1	Nº2	Nº3
1,908213	1,772947	1,7343

Promedio de la capacidad de adherencia de Asfalto Líquido ADP en Geotextil Mactex REPAV60.2 de Maccaferri en sentido paralelo a la fabricación:

Retención Paralela = 1,8052 L/m²

➤ **CORTE PERPENDICULAR AL SENTIDO DE LA FABRICACIÓN**

ANTES DE REALIZAR LA PRUEBA.		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
6,3	6,5	6,3

REALIZADA LA PRUEBA		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
42,8	43,3	42,1

$$Retención = \frac{(wsat - Wi)}{A * Da}$$

W_{sat} = Peso de la muestra saturada en gr.

W_i = Peso de la muestra antes del ensayo de adherencia en gr.

A = Área de la muestra en m².

Da = Densidad del asfalto en gr/l.

CAPACIDAD DE ADHERENCIA L/m²		
Nº1	Nº2	Nº3
1,763285	1,777778	1,729469

Promedio de la capacidad de adherencia de Asfalto Líquido ADP en Geotextil Mactex REPAV60.2 de Maccaferri en sentido perpendicular a la fabricación:

$$Retención Perpendic. = 1,7568 \quad L/m^2$$

❖ **ADHERENCIA DE ASFALTO LÍQUIDO (ADP) DE STRATURA
ASFALTOS EN GEOTEXTIL NT7000 DE PAVCO**

AREA DE LA MUESTRA = 0,02 m²

➤ **CORTE PARALELO AL SENTIDO DE LA FABRICACIÓN**

ANTES DE REALIZAR LA PRUEBA.		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
4	4,1	4,3

REALIZADA LA PRUEBA		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
30,6	29	28,3

$$Retención = \frac{(wsat - Wi)}{A * Da}$$

W_{sat} = Peso de la muestra saturada en gr.

W_i = Peso de la muestra antes del ensayo de adherencia en gr.

A = Área de la muestra en m².

Da = Densidad del asfalto en gr/l.

CAPACIDAD DE ADHERENCIA L/m ²		
Nº1	Nº2	Nº3
1,285024	1,202899	1,15942

Promedio de la capacidad de adherencia de Asfalto Líquido ADP en Geotextil NT7000 de PAVCO en sentido paralelo a la fabricación:

Retención Paralela = 1,2158 L/m²

➤ **CORTE PERPENDICULAR AL SENTIDO DE LA FABRICACIÓN**

ANTES DE REALIZAR LA PRUEBA.		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
4,6	4	4,2

REALIZADA LA PRUEBA		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
29,5	28,3	30,3

$$Retención = \frac{(wsat - Wi)}{A * Da}$$

Wsat = Peso de la muestra saturada en gr.

Wi = Peso de la muestra antes del ensayo de adherencia en gr.

A = Área de la muestra en m2.

Da = Densidad del asfalto en gr/l.

CAPACIDAD DE ADHERENCIA L/m2		
Nº1	Nº2	Nº3
1,202899	1,173913	1,26087

Promedio de la capacidad de adherencia de Asfalto Líquido ADP en Geotextil NT7000 de PAVCO en sentido perpendicular a la fabricación:

Retención Perpendic. = 1,2126 L/m2

4.2.4.3. ASFALTO EMPLEADO: CEMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO (CAP) DE BETUNEL

Densidad (21 °C) = 0.965 gr/cm³ = 965 gr/l

❖ ADHERENCIA DE CEMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO (CAP) DE BETUNEL EN GEOTEXTIL MACTEX REPAV40.2 DE MACCAFERRI

AREA DE LA MUESTRA = 0,02 m²

➤ CORTE PARALELO AL SENTIDO DE LA FABRICACIÓN

ANTES DE REALIZAR LA PRUEBA.		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
4,1	3,7	4

REALIZADA LA PRUEBA		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
23,5	22,8	23,3

$$Retención = \frac{(wsat - Wi)}{A * Da}$$

W_{sat} = Peso de la muestra saturada en gr.

W_i = Peso de la muestra antes del ensayo de adherencia en gr.

A = Área de la muestra en m².

Da = Densidad del asfalto en gr/l.

CAPACIDAD DE ADHERENCIA L/m ²		
Nº1	Nº2	Nº3
0,937198	0,922705	0,932367

Promedio de la capacidad de adherencia de CAP de BETUNEL en Geotextil Mactex REPAV40.2 de Maccaferri en sentido paralelo a la fabricación:

$$\text{Retención Paralela} = 0,9308 \quad \text{L/m}^2$$

➤ **CORTE PERPENDICULAR AL SENTIDO DE LA FABRICACIÓN**

ANTES DE REALIZAR LA PRUEBA.		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
3,7	3,8	3,7

REALIZADA LA PRUEBA		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
23,1	22,8	24

$$\text{Retención} = \frac{(w_{sat} - W_i)}{A * D_a}$$

W_{sat} = Peso de la muestra saturada en gr.

W_i = Peso de la muestra antes del ensayo de adherencia en gr.

A = Área de la muestra en m².

D_a = Densidad del asfalto en gr/l.

CAPACIDAD DE ADHERENCIA L/m ²		
Nº1	Nº2	Nº3
0,9372	0,9179	0,9807

Promedio de la capacidad de adherencia de CAP de BETUNEL en Geotextil Mactex REPAV40.2 de Maccaferri en sentido perpendicular a la fabricación:

$$\text{Retención Perpend.} = 0,9452 \quad \text{L/m}^2$$

❖ **ADHERENCIA DE CEMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO (CAP) DE BETUNEL EN GEOTEXTIL MACTEX REPAV60.2 DE MACCAFERRI**

AREA DE LA MUESTRA = 0,02 m²

➤ **CORTE PARALELO AL SENTIDO DE LA FABRICACIÓN**

ANTES DE REALIZAR LA PRUEBA.		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
6,8	6,1	6,6

REALIZADA LA PRUEBA		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
27,5	23,2	26,5

$$Retención = \frac{(wsat - Wi)}{A * Da}$$

W_{sat} = Peso de la muestra saturada en gr.

W_i = Peso de la muestra antes del ensayo de adherencia en gr.

A = Área de la muestra en m².

Da = Densidad del asfalto en gr/l.

CAPACIDAD DE ADHERENCIA L/m ²		
Nº1	Nº2	Nº3
1	0,826087	0,961353

Promedio de la capacidad de adherencia de CAP de BETUNEL en Geotextil Mactex REPAV60.2 de MACCAFERRI en sentido paralelo a la fabricación:

Retención Paralela = 0,9291 L/m²

➤ **CORTE PERPENDICULAR AL SENTIDO DE LA FABRICACIÓN**

ANTES DE REALIZAR LA PRUEBA.		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
7	6,4	6,5

REALIZADA LA PRUEBA		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
29,3	25,2	25,6

$$Retención = \frac{(wsat - Wi)}{A * Da}$$

Wsat = Peso de la muestra saturada en gr.

Wi = Peso de la muestra antes del ensayo de adherencia en gr.

A = Área de la muestra en m².

Da = Densidad del asfalto en gr/l.

CAPACIDAD DE ADHERENCIA L/m²		
Nº1	Nº2	Nº3
1,077295	0,908213	0,922705

Promedio de la capacidad de adherencia de CAP de BETUNEL en Geotextil Mactex REPAV60.2 de MACCAFERRI en sentido perpendicular a la fabricación:

$$Retención Perpend. = 0,9694 \text{ L/m}^2$$

❖ **ADHERENCIA DE CEMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO (CAP)
DE BETUNEL EN GEOTEXTIL NT7000 DE PAVCO**

AREA DE LA MUESTRA = 0,02 m²

➤ **CORTE PARALELO AL SENTIDO DE LA FABRICACIÓN**

ANTES DE REALIZAR LA PRUEBA.		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
4,4	4,7	4,8

REALIZADA LA PRUEBA		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
17,2	18,3	18,8

$$Retención = \frac{(wsat - Wi)}{A * Da}$$

W_{sat} = Peso de la muestra saturada en gr.

W_i = Peso de la muestra antes del ensayo de adherencia en gr.

A = Área de la muestra en m².

Da = Densidad del asfalto en gr/l.

CAPACIDAD DE ADHERENCIA L/m²		
Nº1	Nº2	Nº3
0,61836	0,657	0,67633

Promedio de la capacidad de adherencia de CAP de BETUNEL en Geotextil NT7000 de PAVCO en sentido paralelo a la fabricación:

Retención Paralela = 0,6506 L/m²

➤ **CORTE PERPENDICULAR AL SENTIDO DE LA FABRICACIÓN**

ANTES DE REALIZAR LA PRUEBA.		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
4,1	3,8	3,8

REALIZADA LA PRUEBA		
PESO DE MUESTRAS DE 100mm x 200mm en gr		
Nº1	Nº2	Nº3
18,7	19,1	18,1

$$Retención = \frac{(wsat - Wi)}{A * Da}$$

W_{sat} = Peso de la muestra saturada en gr.

W_i = Peso de la muestra antes del ensayo de adherencia en gr.

A = Área de la muestra en m².

Da = Densidad del asfalto en gr/l.

CAPACIDAD DE ADHERENCIA L/m ²		
Nº1	Nº2	Nº3
0,70531	0,73913	0,69082

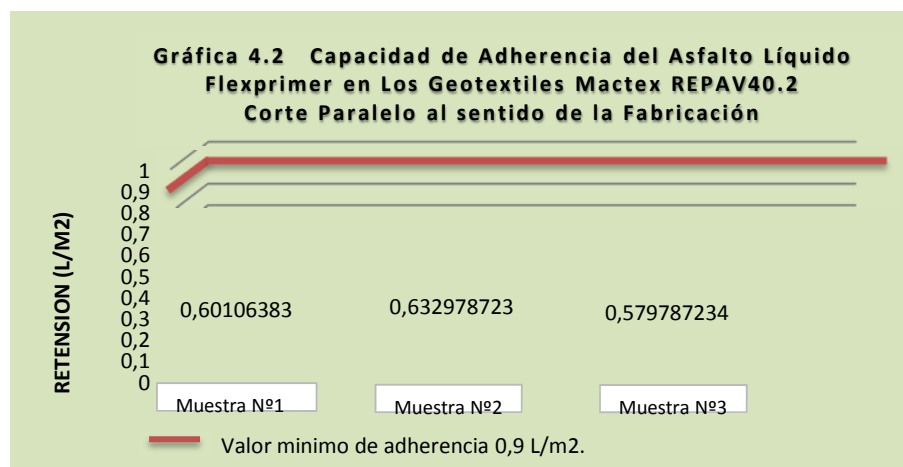
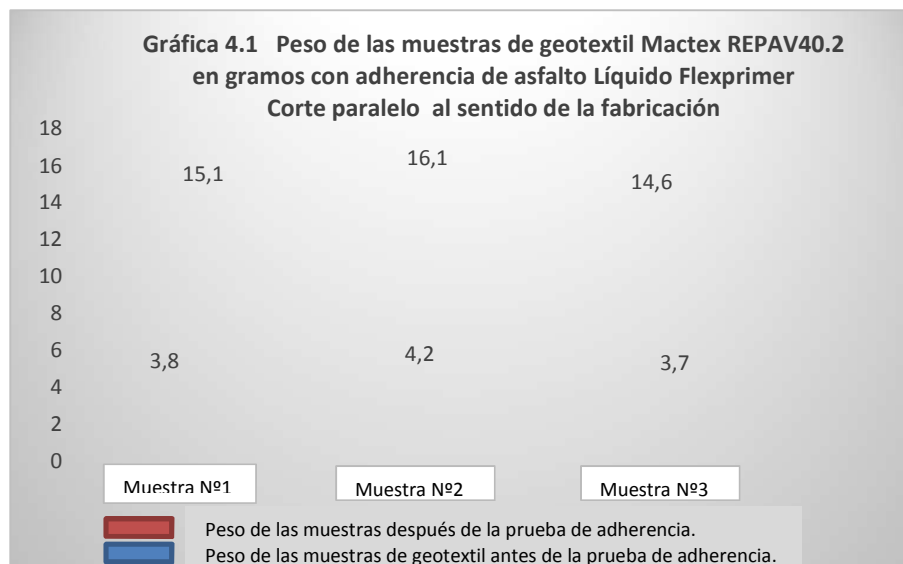
Promedio de la capacidad de adherencia de CAP de BETUNEL en Geotextil NT7000 de PAVCO en sentido perpendicular a la fabricación:

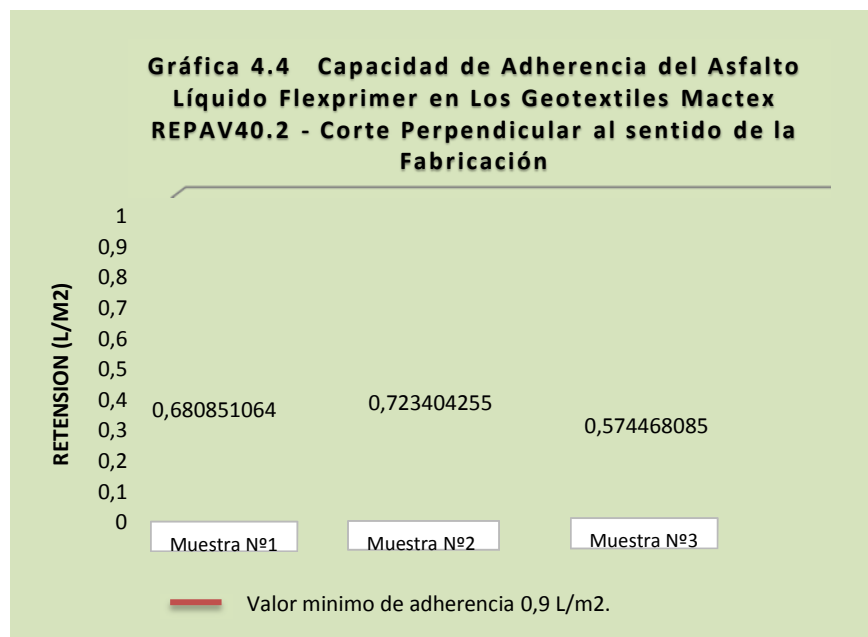
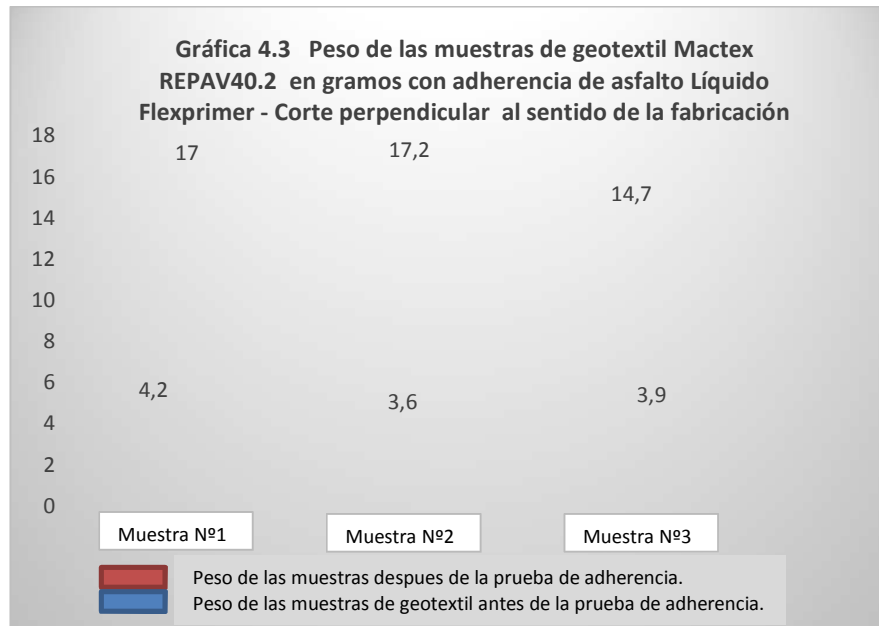
$$Retención Perpend. = 0,7118 \quad L/m^2$$

4.2.5. GRÁFICAS ESTADÍSTICAS DE LOS RESULTADOS DE ADHERENCIA DE ASFALTOS EN GEOTEXTILES

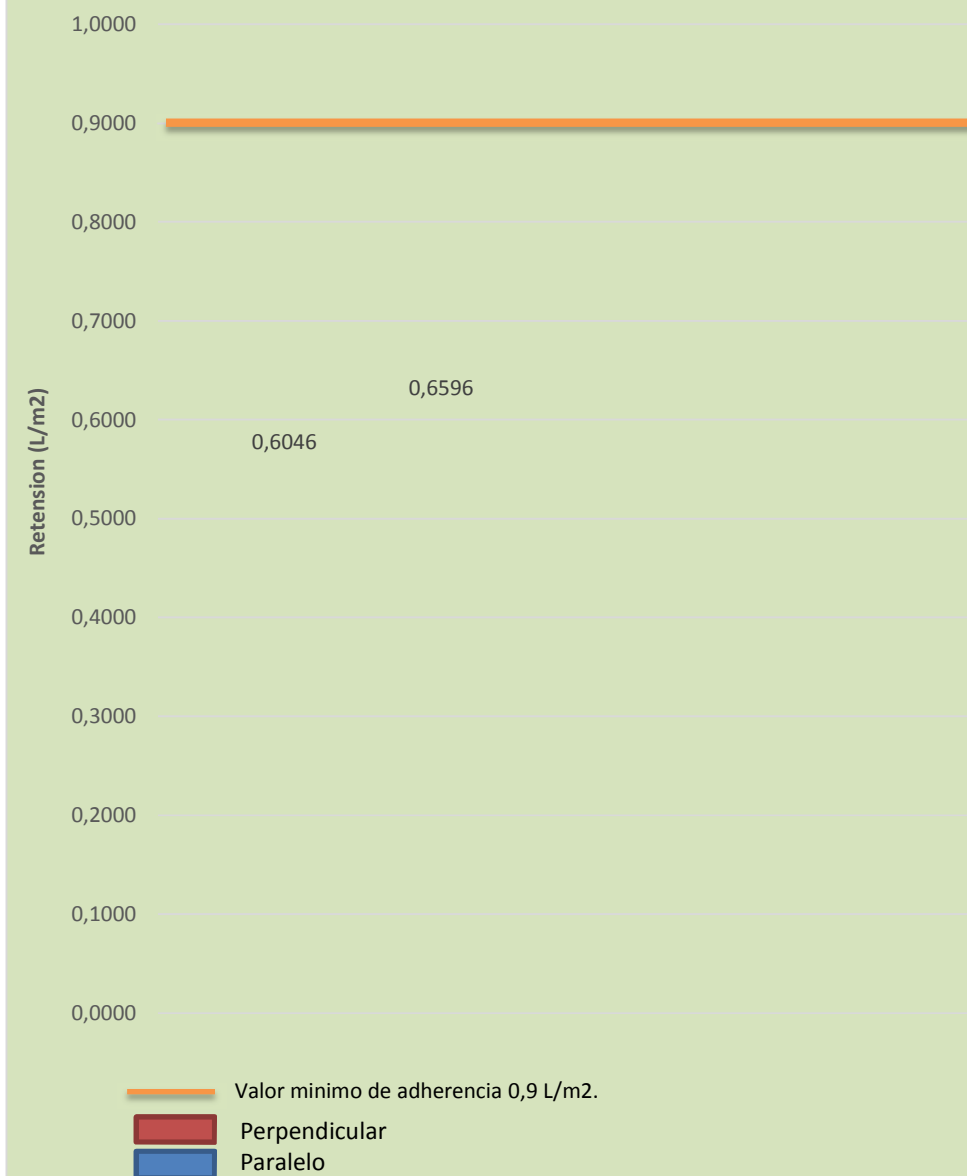
4.2.5.1. GRÁFICAS ESTADÍSTICAS DE ADHERENCIA DE ASFALTO LÍQUIDO FLEXPIMER EN GEOTEXTILES

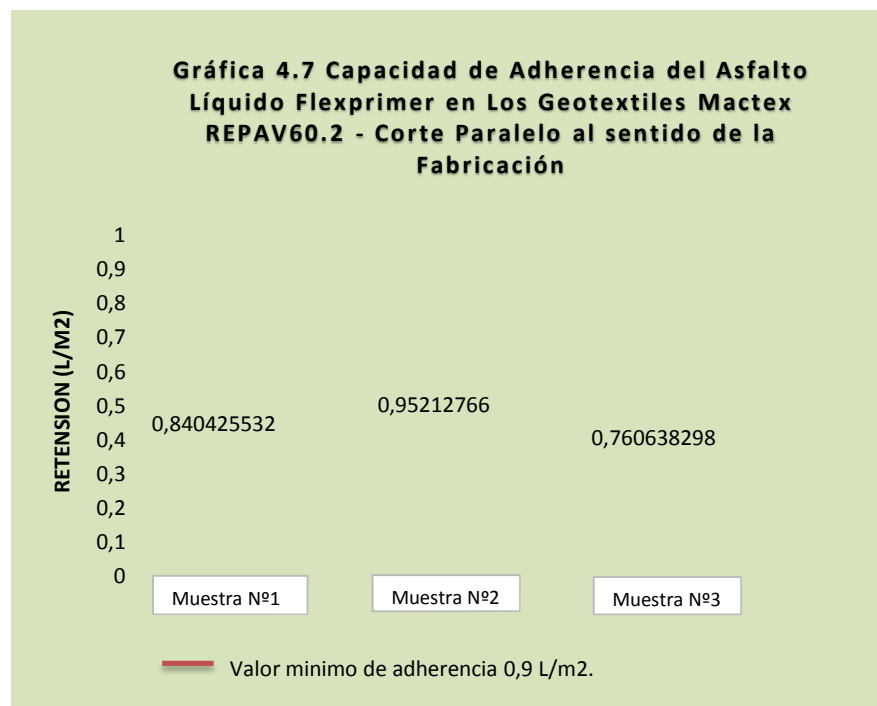
❖ GRÁFICAS ESTADÍSTICAS DE ADHERENCIA DE ASFALTO LÍQUIDO FLEXPIMER EN LOS DIVERSOS GEOTEXTILES SEGÚN EL SENTIDO DE FABRICACIÓN

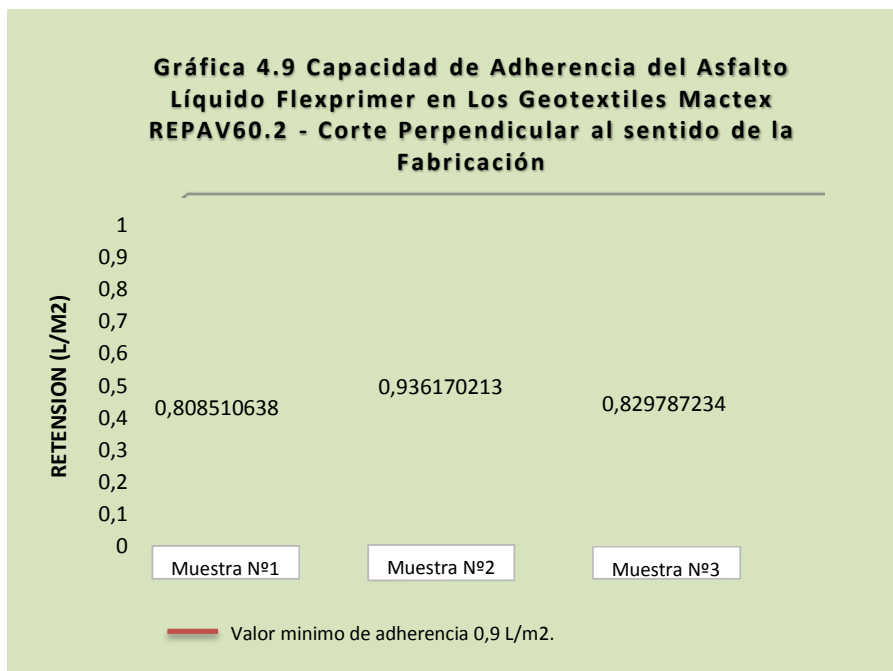
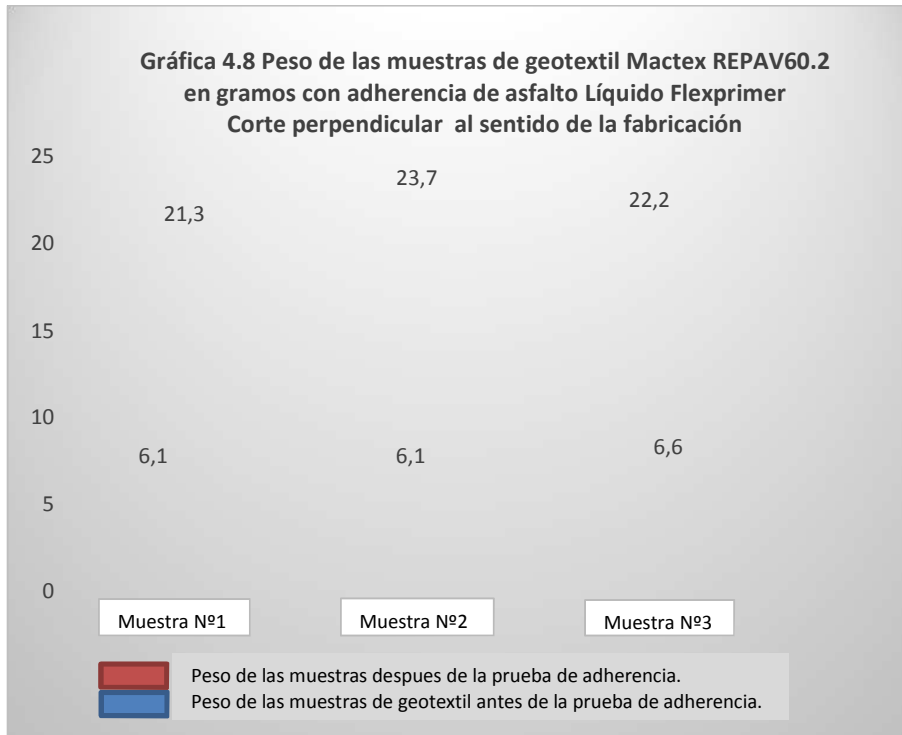




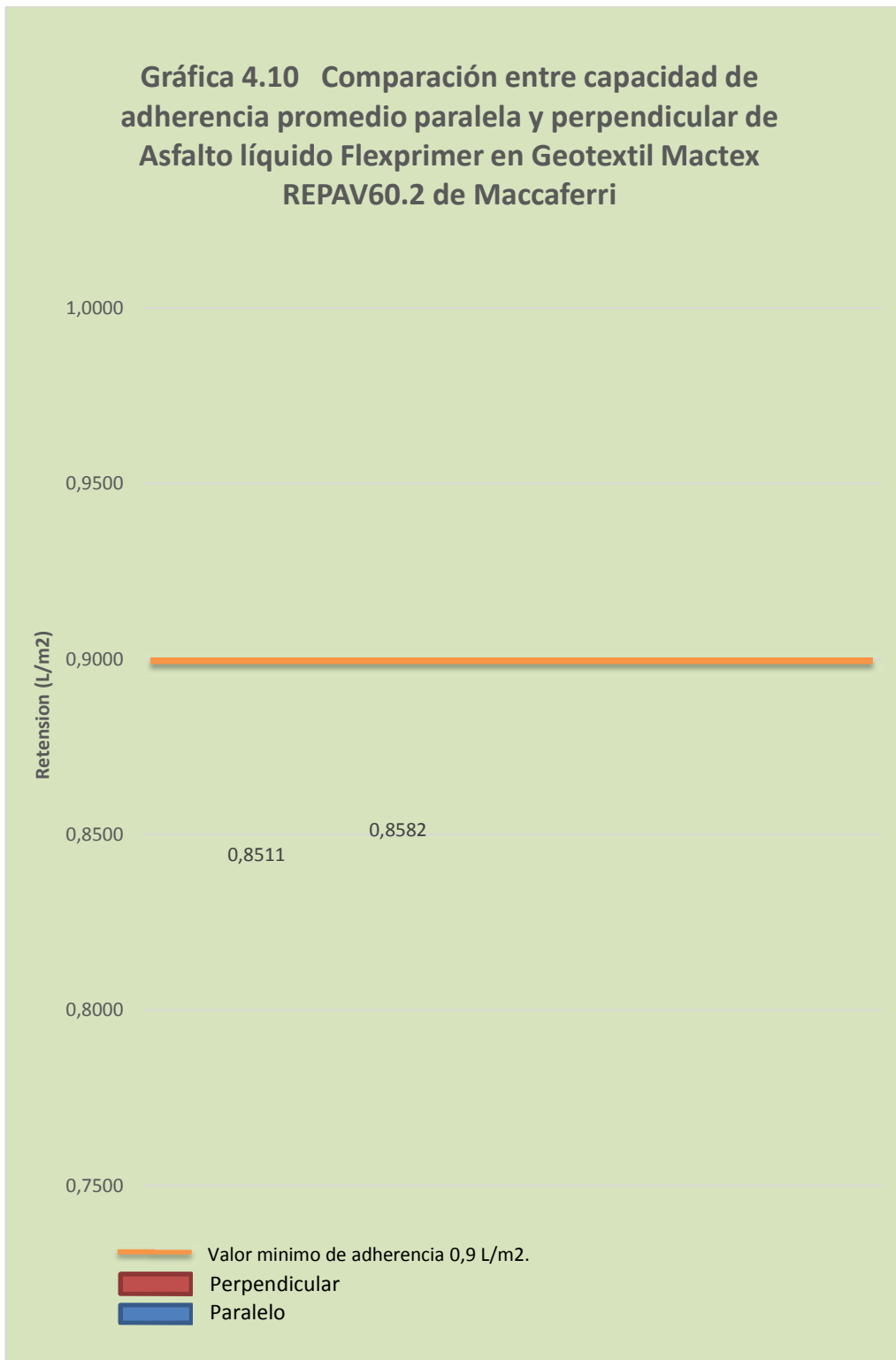
Gráfica 4.5 Comparación entre capacidad de adherencia promedio paralela y perpendicular de Asfalto líquido Flexprimer en Geotextil Mactex REPAV40.2 de Maccaferri

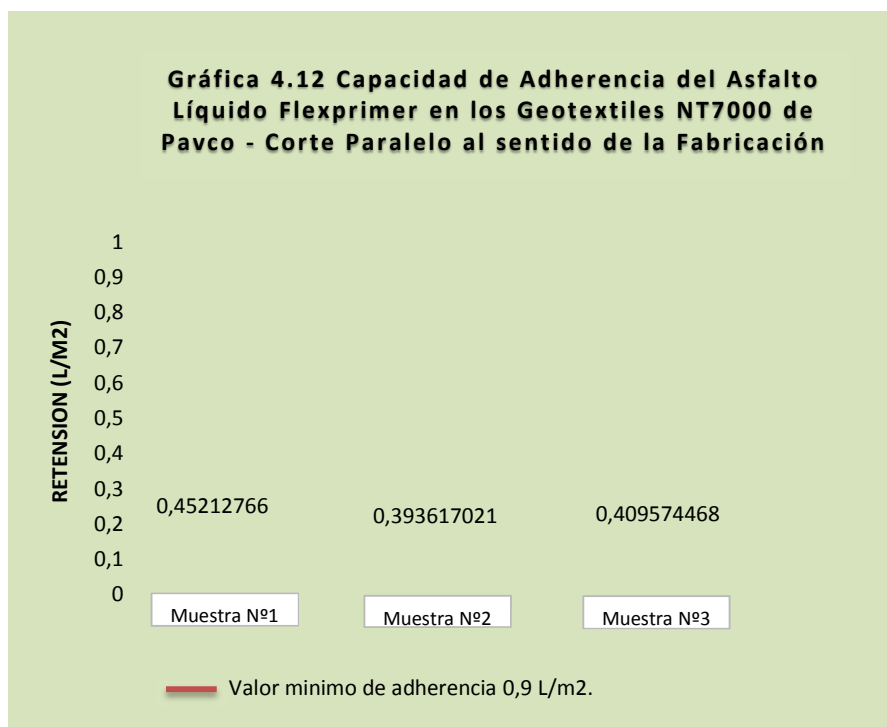
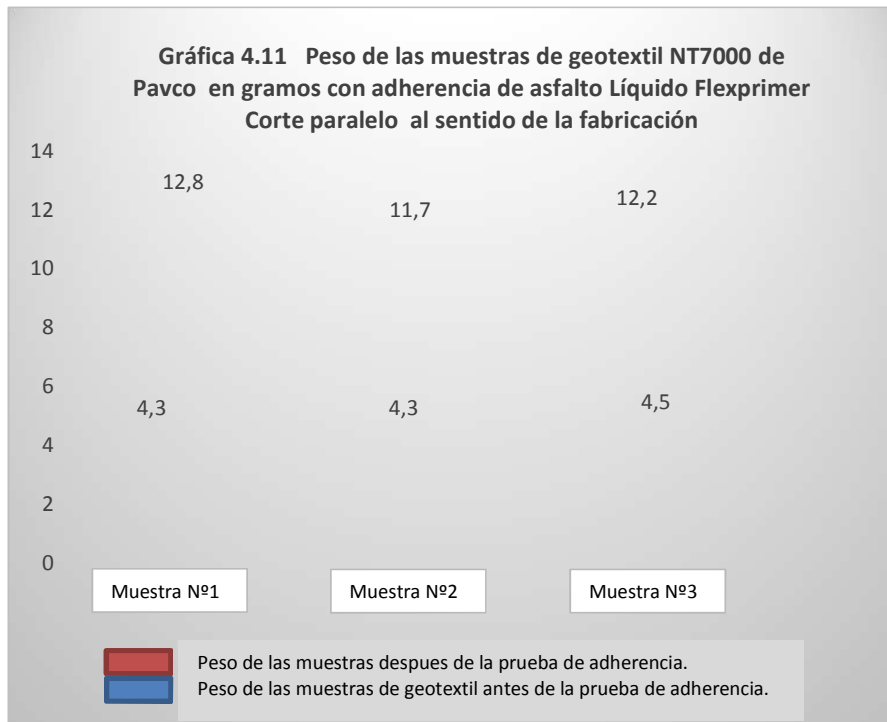


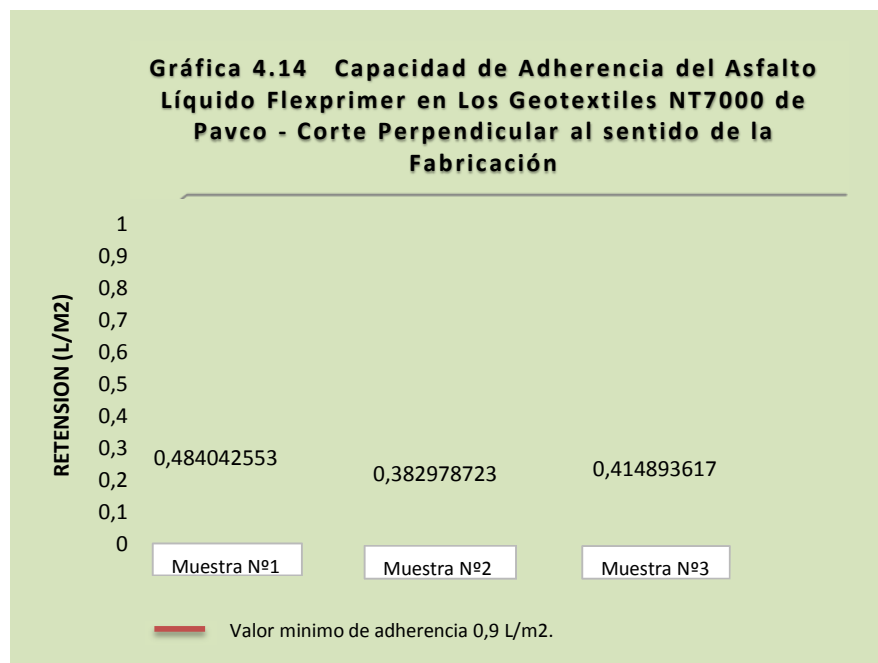
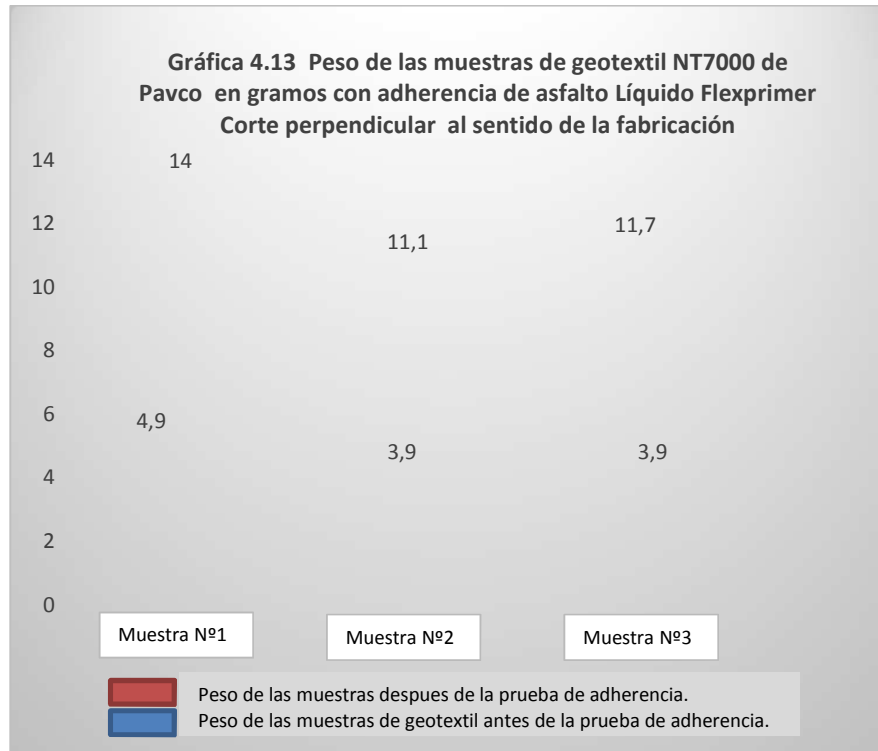




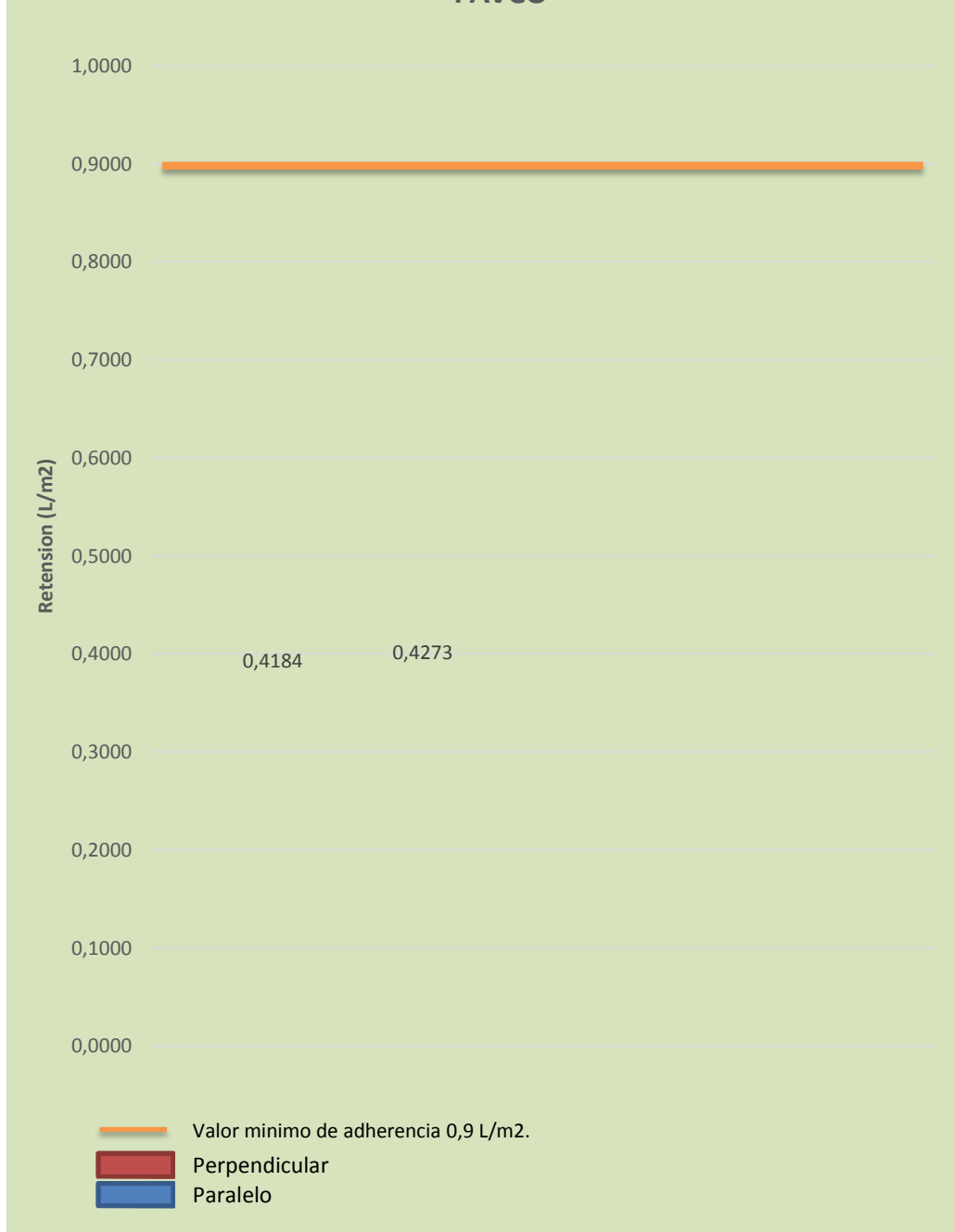
Gráfica 4.10 Comparación entre capacidad de adherencia promedio paralela y perpendicular de Asfalto líquido Flexprimer en Geotextil Mactex REPAV60.2 de Maccaferri







Gráfica 4.15 Comparación entre capacidad de adherencia promedio paralela y perpendicular de Asfalto líquido Flexprimer en Geotextil NT7000 de PAVCO



❖ GRÁFICA ESTADÍSTICA DE COMPARACIÓN DE ADHERENCIA DE ASFALTO LÍQUIDO FLEXPIMER EN LOS DIVERSOS GEOTEXTILES

Promedio de retención de Asfalto Líquido Flexprimer en Geotextil Mactex REPAV40.2:

Retención Paralela = 0,6046 L/m²

Retención Perpendicular = 0,6596 L/m²

Promedio de retención = 0,6321 L/m²

Promedio de retención de Asfalto Líquido Flexprimer en Geotextil Mactex REPAV60.2:

Retención Paralela = 0,8511 L/m²

Retención Perpendicular = 0,8582 L/m²

Promedio de retención = 0,8546 L/m²

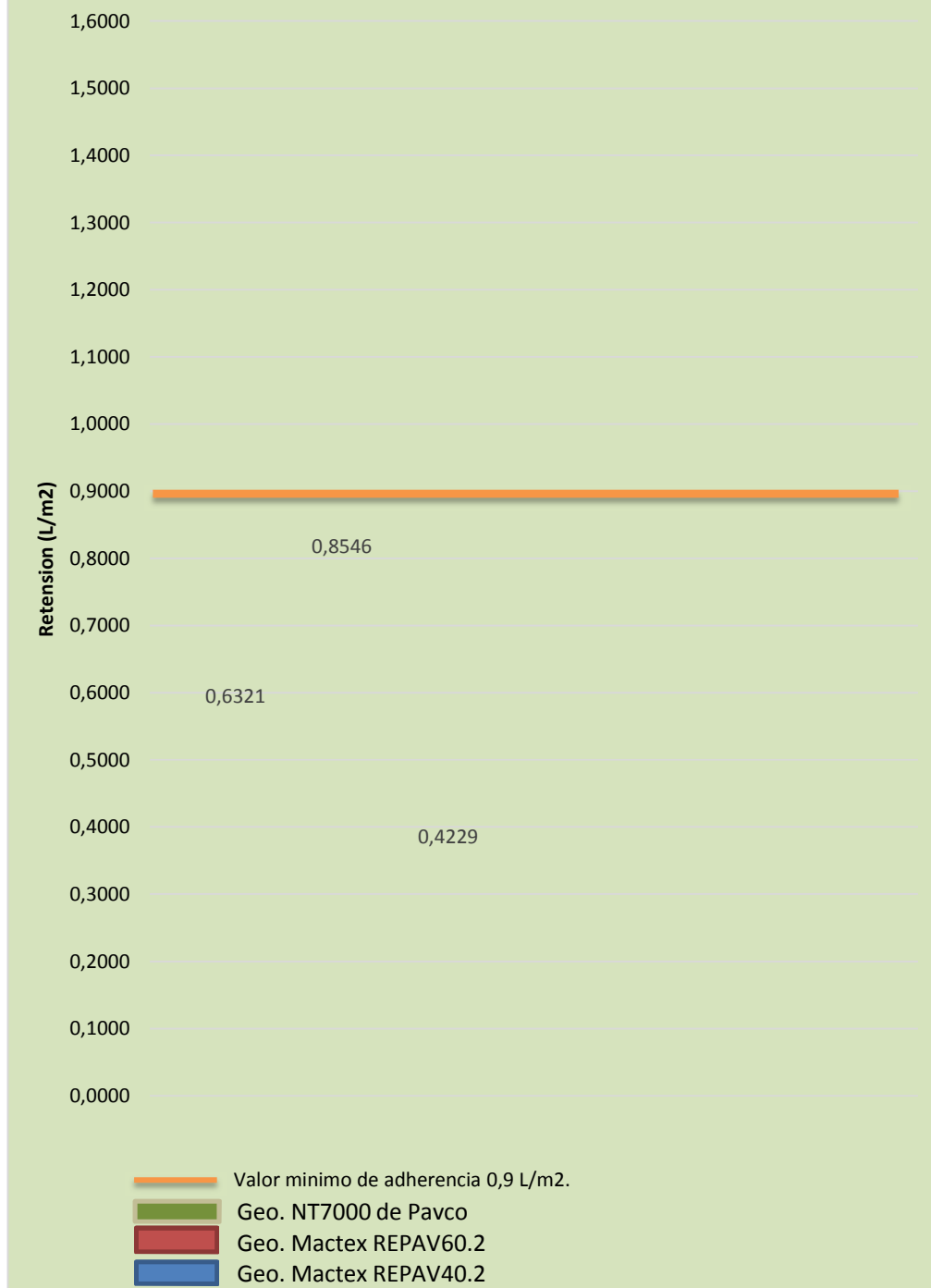
Promedio de retención de Asfalto Líquido Flexprimer en Geotextil NT7000 de Pavco:

Retención Paralela = 0,4184 L/m²

Retención Perpendicular = 0,4273 L/m²

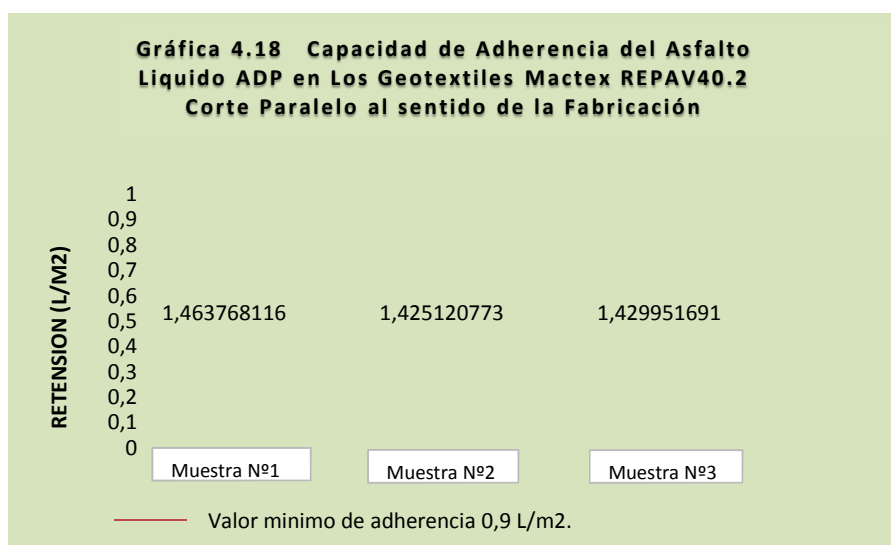
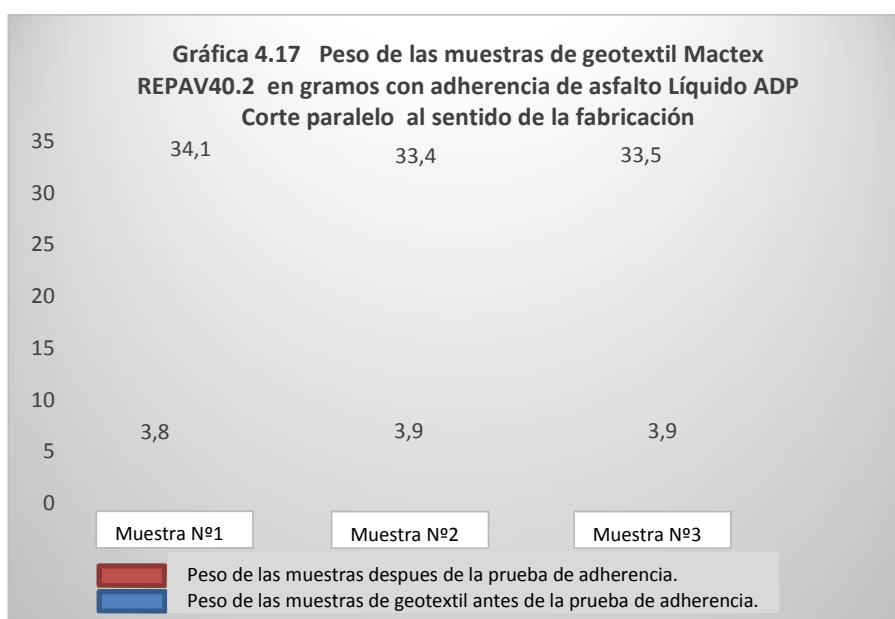
Promedio de retención = 0,4229 L/m²

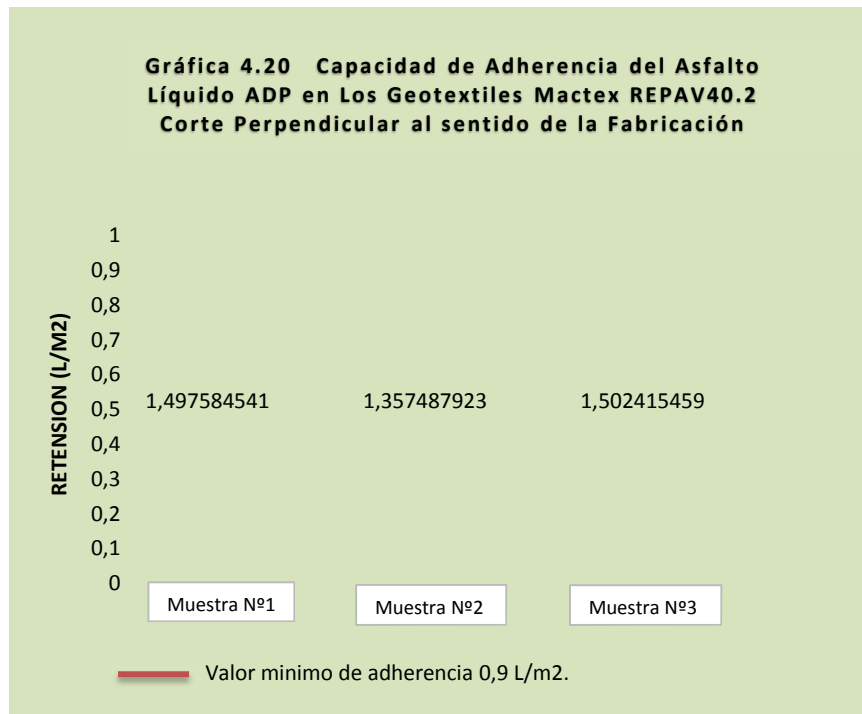
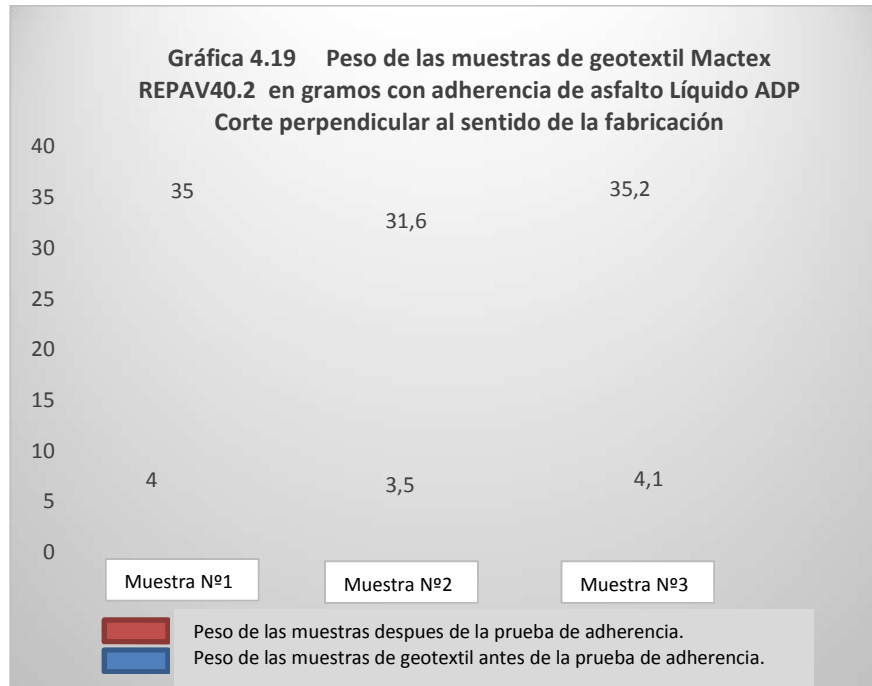
Gráfica 4.16 Comparación de adherencia de Asfalto Líquido Flexprimer en Geotextiles Maxtec REPAV40.2, Mactex REPAV60.2 y NT7000 de Pavco



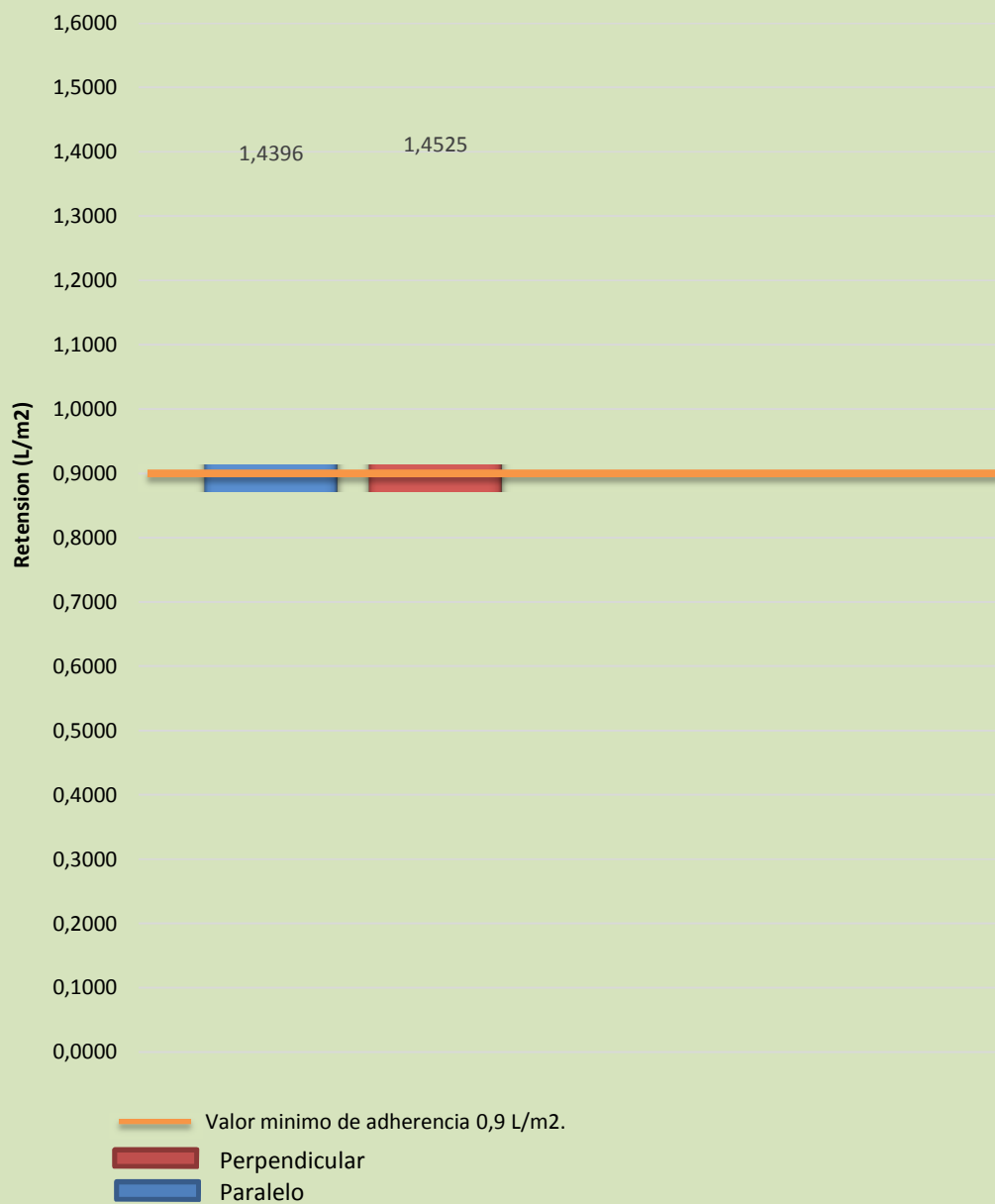
4.2.5.2. GRÁFICAS ESTADÍSTICAS DE ADHERENCIA DE ASFALTO LÍQUIDO ADP DE STRATURA ASFALTOS EN GEOTEXTILES

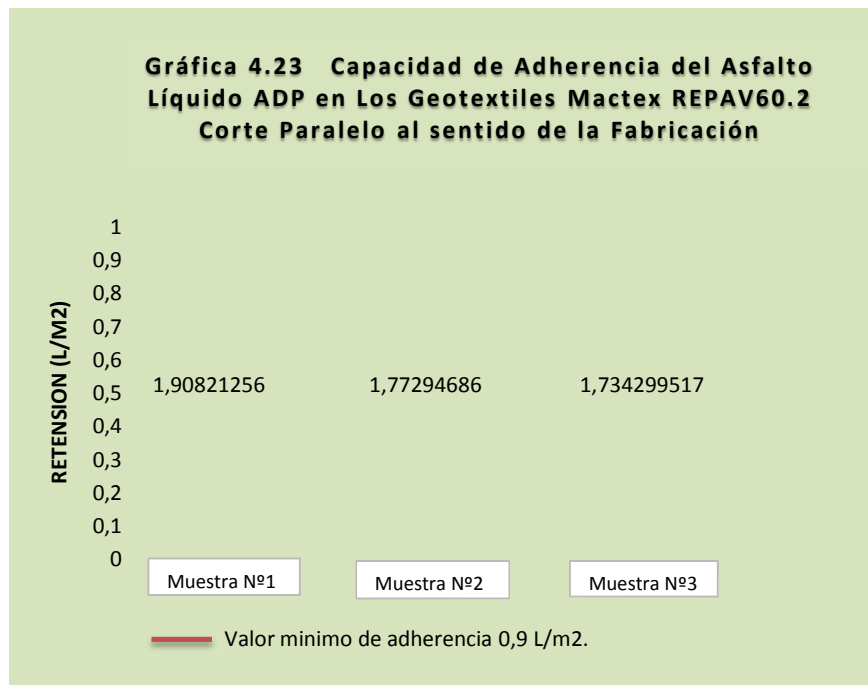
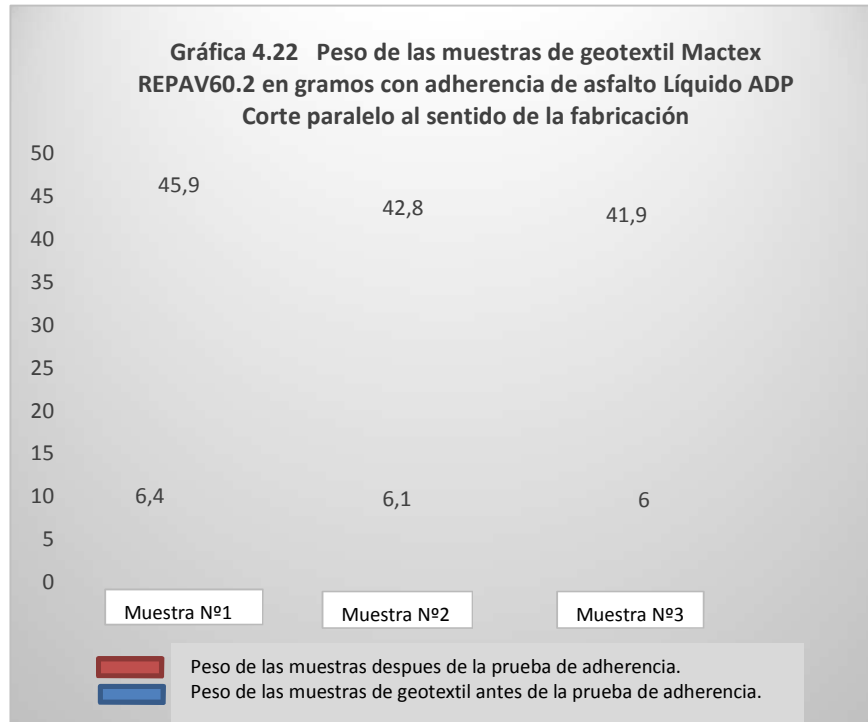
❖ GRÁFICAS ESTADÍSTICAS DE ADHERENCIA DE ASFALTO LÍQUIDO ADP DE STRATURA ASFALTOS EN LOS DIVERSOS GEOTEXTILES SEGÚN EL SENTIDO DE FABRICACIÓN

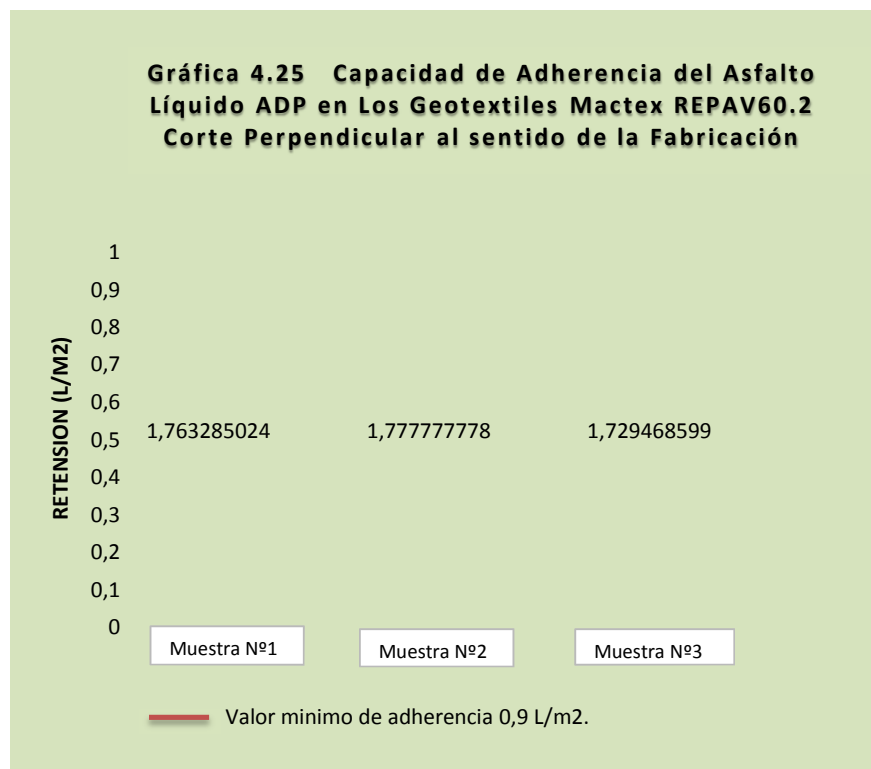
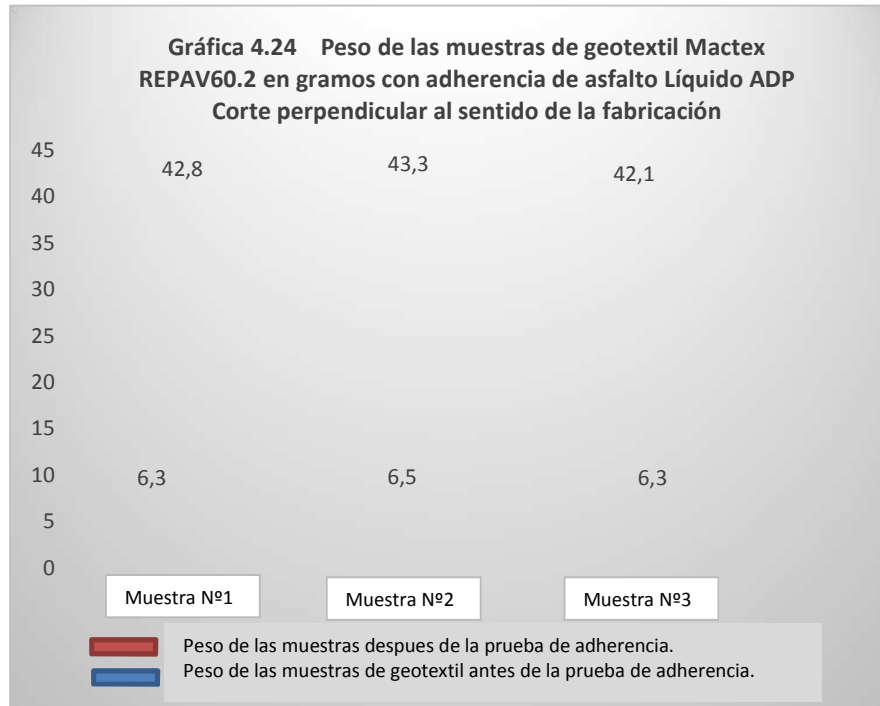




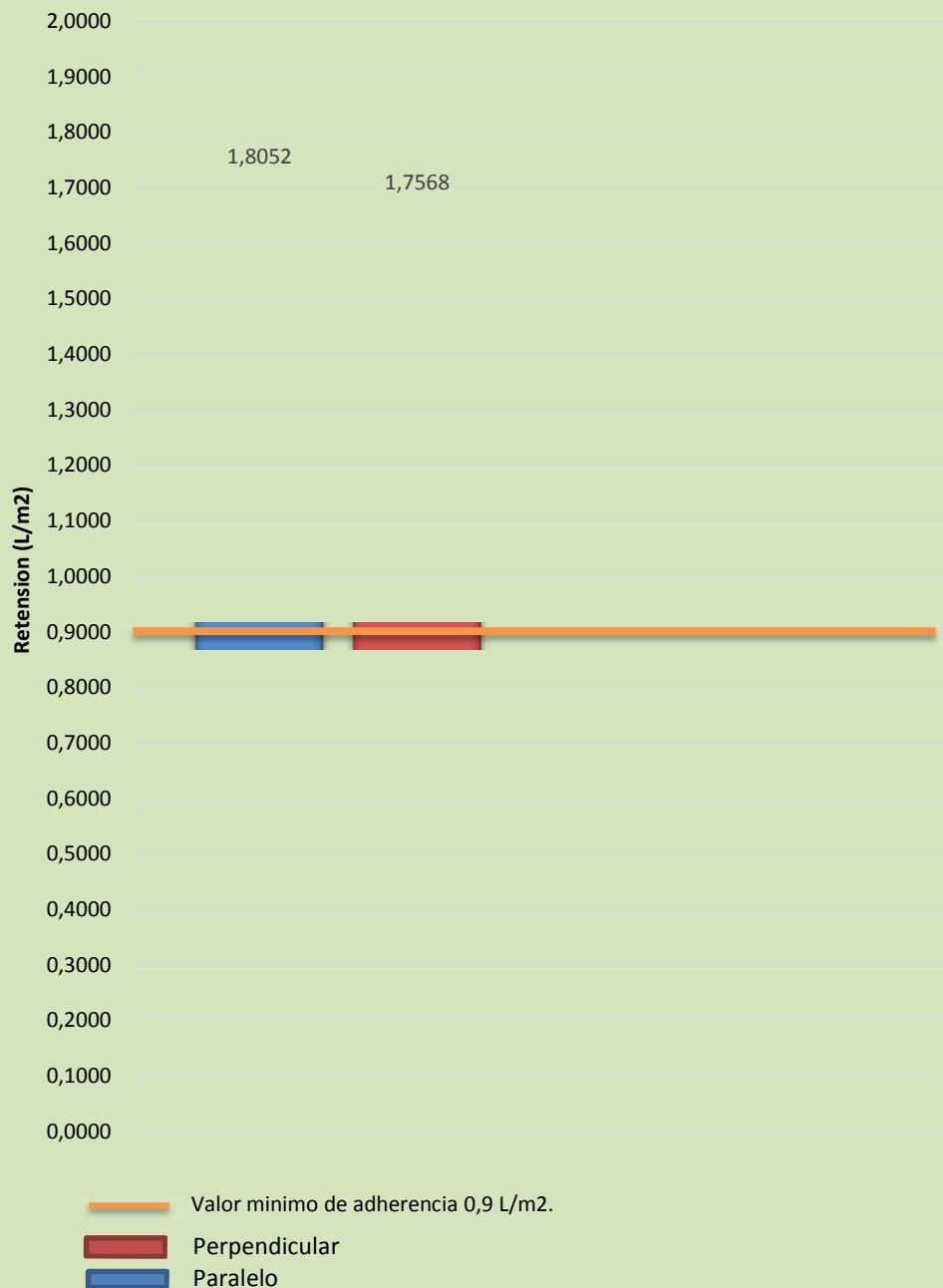
Gráfica 4.21 Comparación entre capacidad de adherencia promedio paralela y perpendicular de Asfalto líquido ADP en Geotextil Mactex REPAV40.2 de Maccaferri

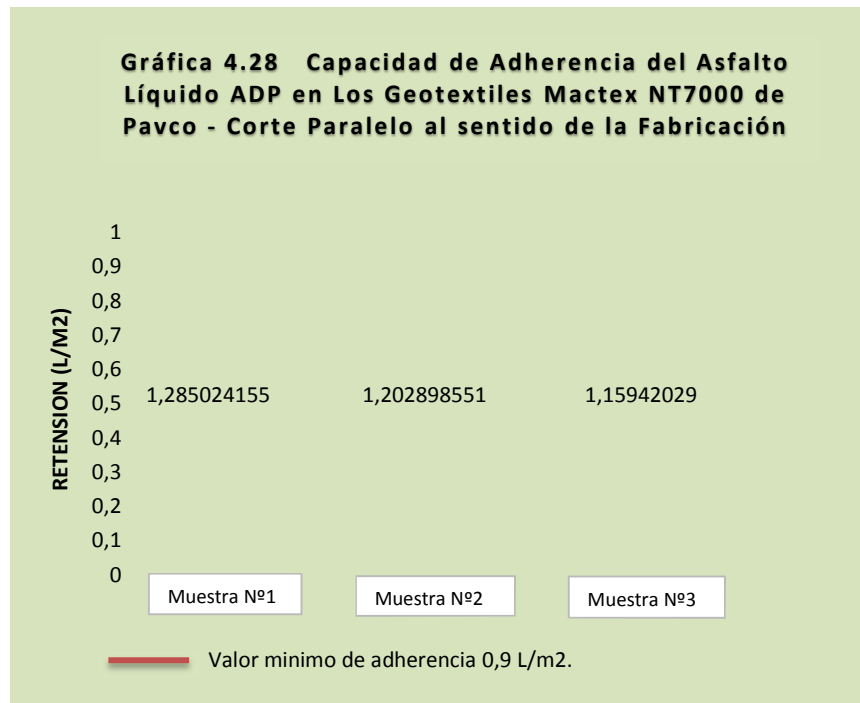
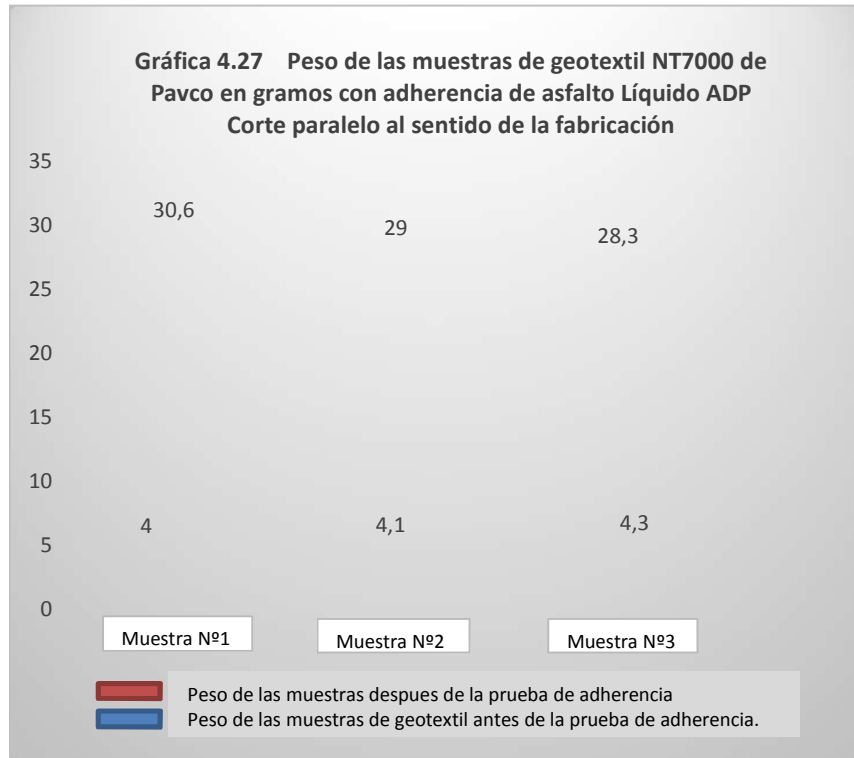


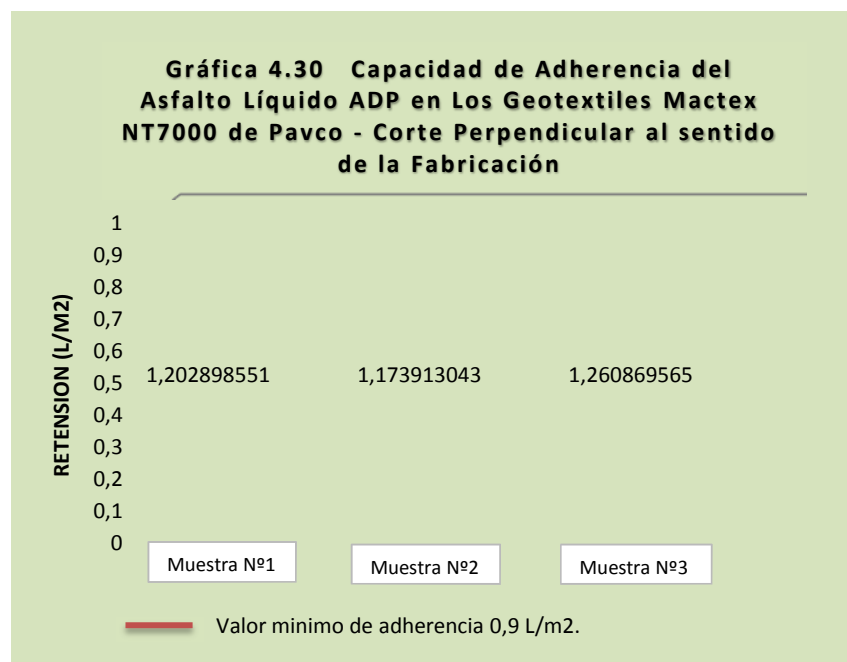
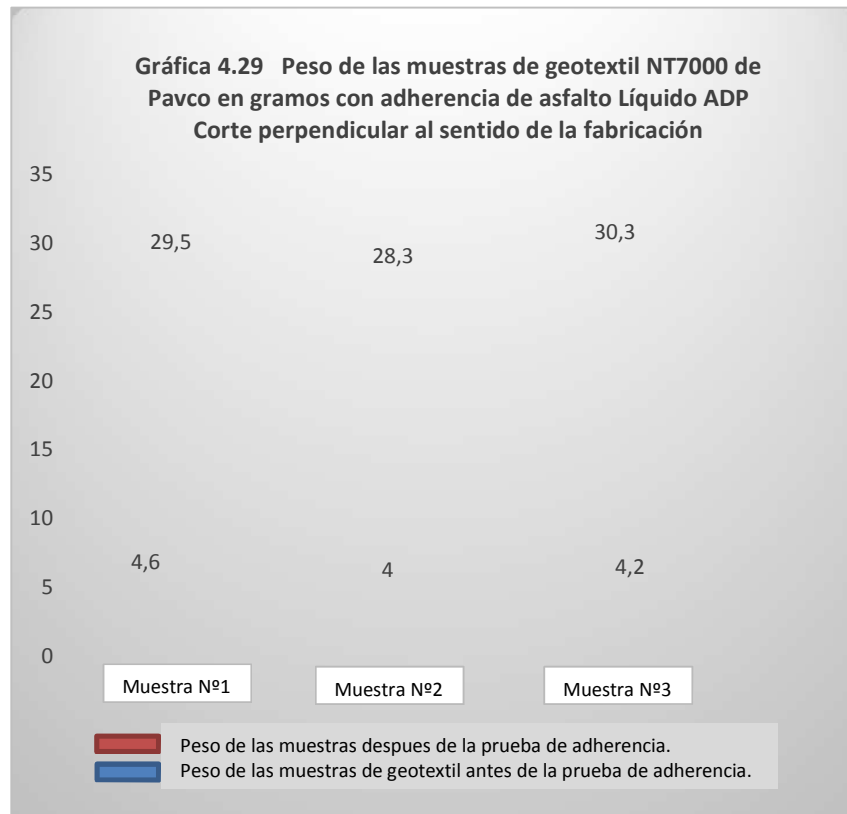




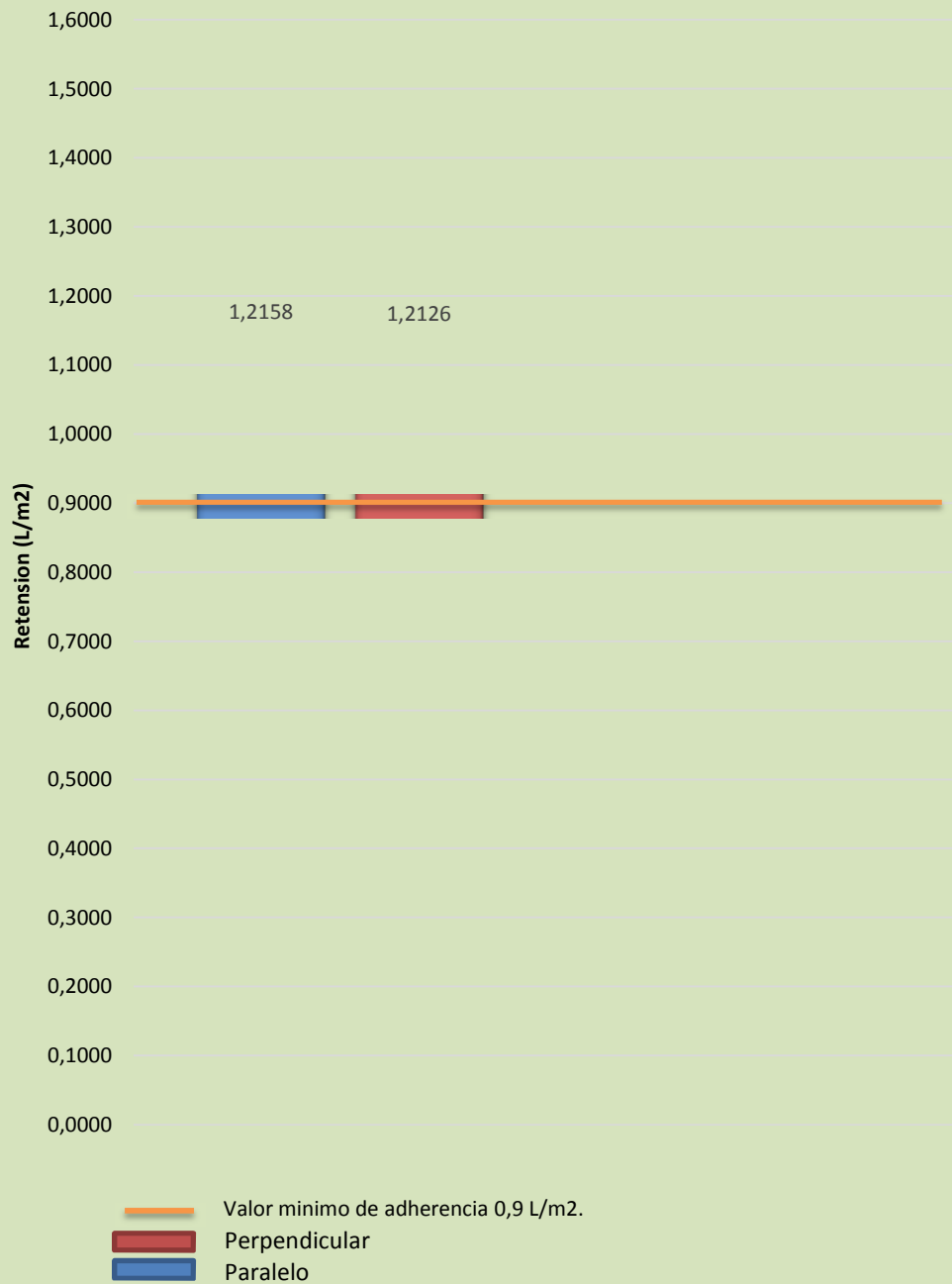
Gráfica 4.26 Comparación entre capacidad de adherencia promedio paralela y perpendicular de Asfalto líquido ADP en Geotextil Mactex REPAV60.2 de Maccaferri







Gráfica 4.31 Comparación entre capacidad de adherencia promedio paralela y perpendicular de Asfalto líquido ADP en Geotextil NT7000 de Pavco



❖ GRÁFICA ESTADÍSTICA DE COMPARACIÓN DE ADHERENCIA DE ASFALTO LÍQUIDO ADP DE STRATURA ASFALTOS EN LOS DIVERSOS GEOTEXTILES

Promedio de retención de Asfalto Líquido ADP en Geotextil Mactex REPAV40.2:

Retención Paralela = 1,4396 L/m²

Retención Perpendicular = 1,4525 L/m²

Promedio de retención = 1,4461 L/m²

Promedio de retención de Asfalto Líquido ADP en Geotextil Mactex REPAV60.2:

Retención Paralela = 1,8052 L/m²

Retención Perpendicular = 1,7568 L/m²

Promedio de retención = 1,7810 L/m²

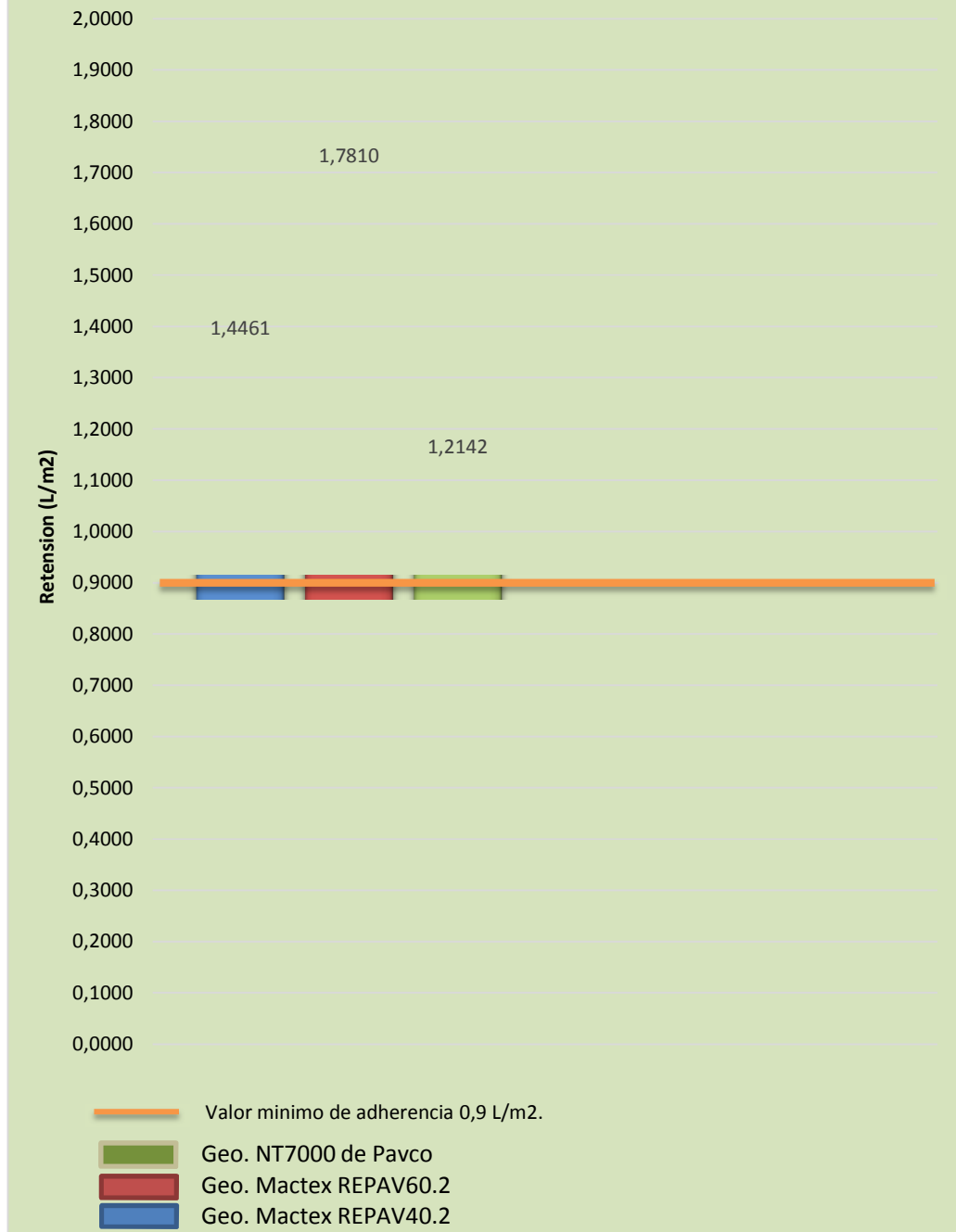
Promedio de retención de Asfalto Líquido ADP en Geotextil NT7000 de Pavco:

Retención Paralela = 1,2158 L/m²

Retención Perpendicular = 1,2126 L/m²

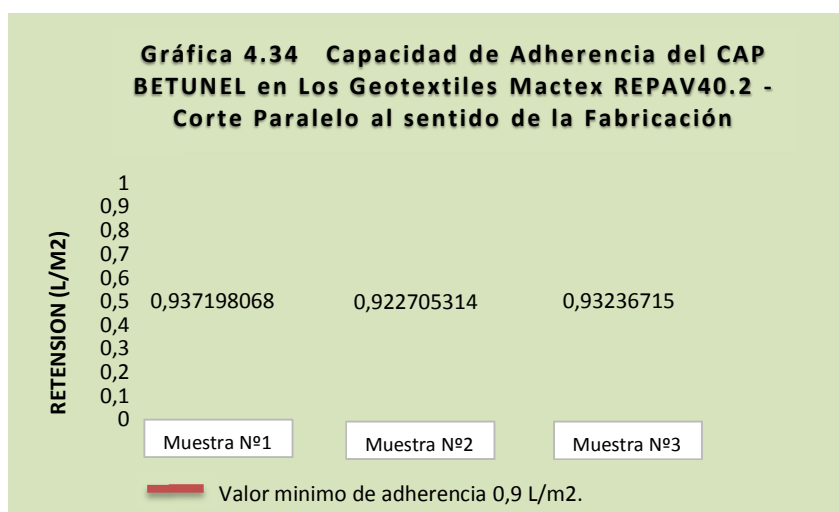
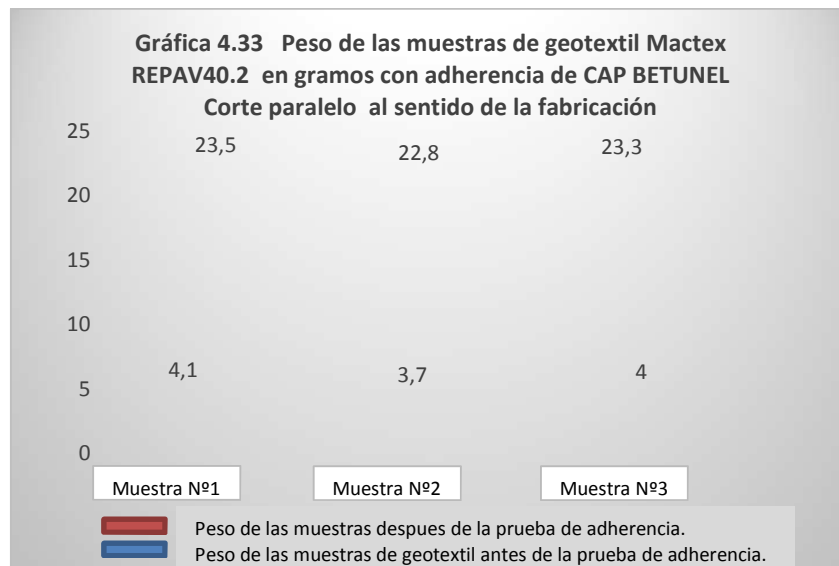
Promedio de retención = 1,2142 L/m²

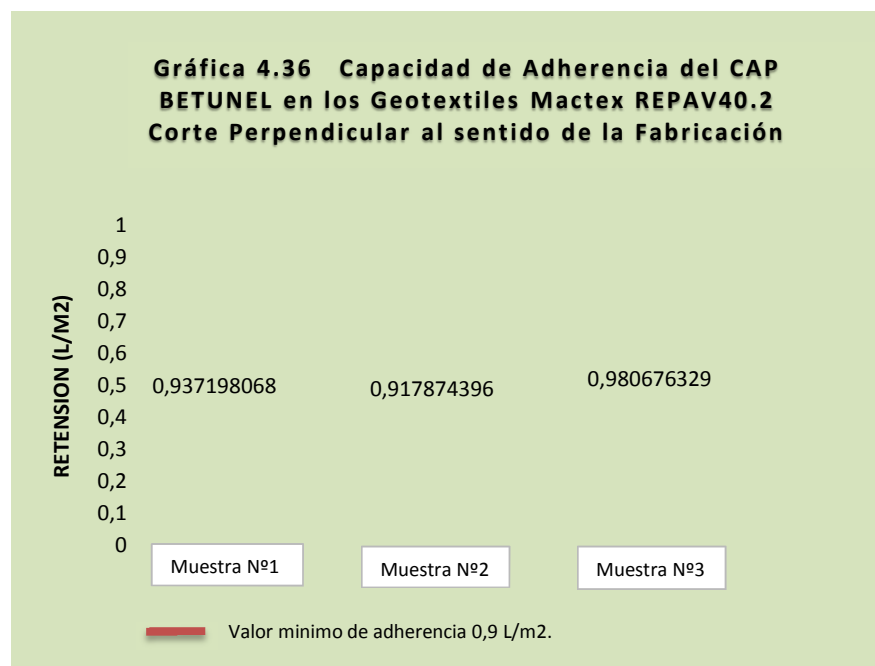
Grafica 4.32 Comparación de adherencia de Asfalto Líquido ADP de STRATURA ASFALTOS en Geotextiles Maxtec REPAV40.2, Mactex REPAV60.2 y NT7000 de Pavco



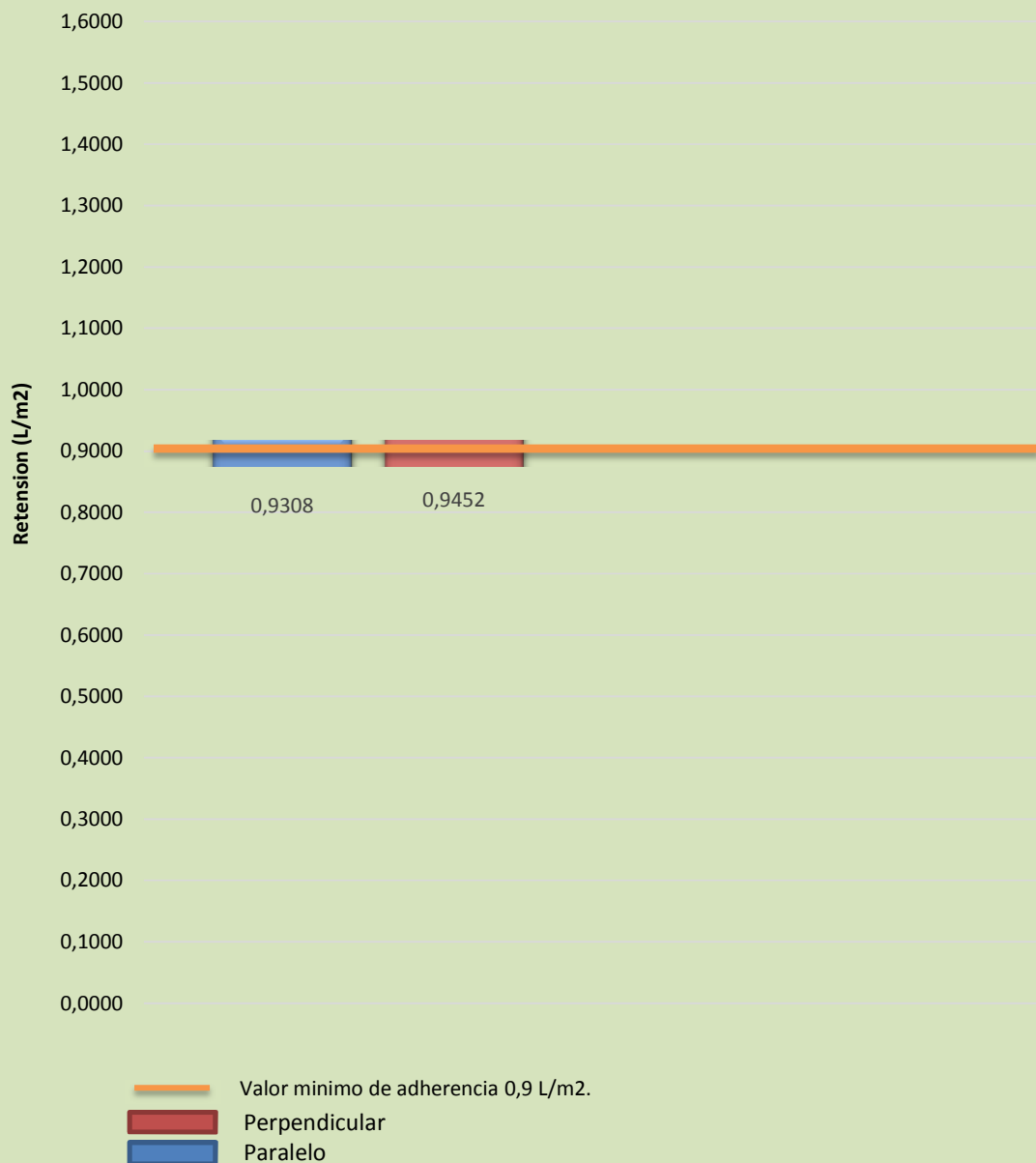
4.2.5.3. GRÁFICAS ESTADÍSTICAS DE ADHERENCIA DE CEMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO (CAP) DE BETUNEL EN GEOTEXTILES

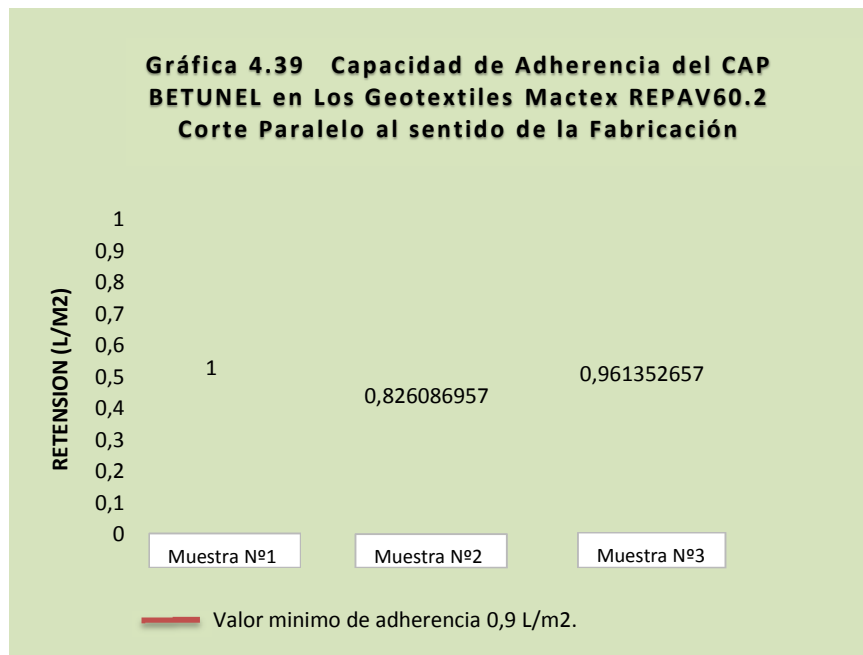
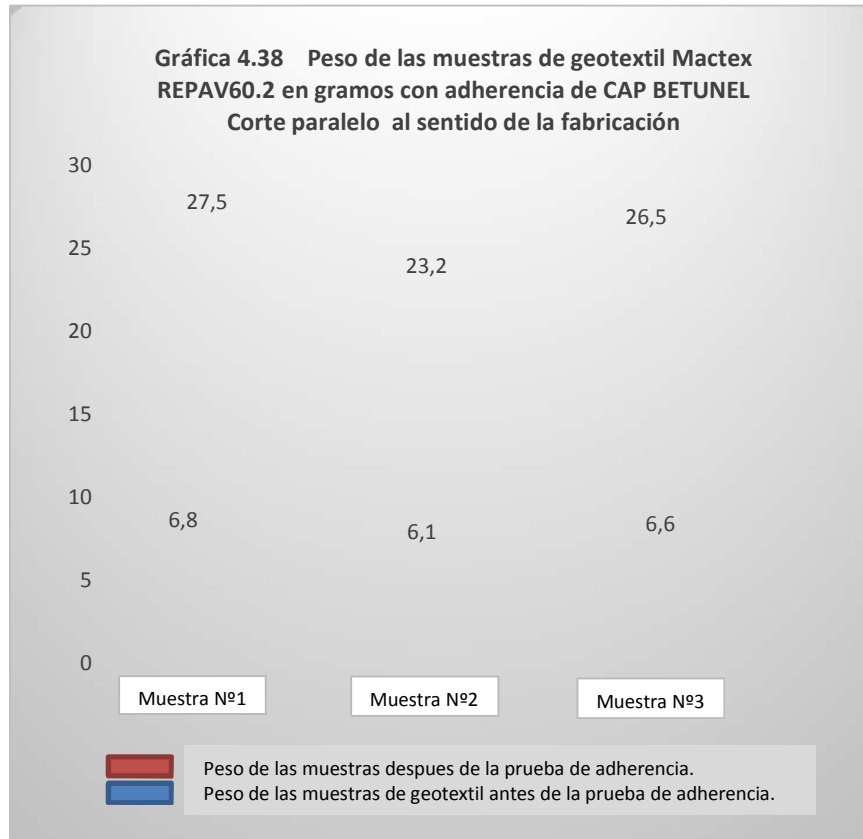
❖ GRÁFICAS ESTADÍSTICAS DE ADHERENCIA DE CEMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO (CAP) DE BETUNEL EN LOS DIVERSOS GEOTEXTILES SEGÚN EL SENTIDO DE FABRICACIÓN

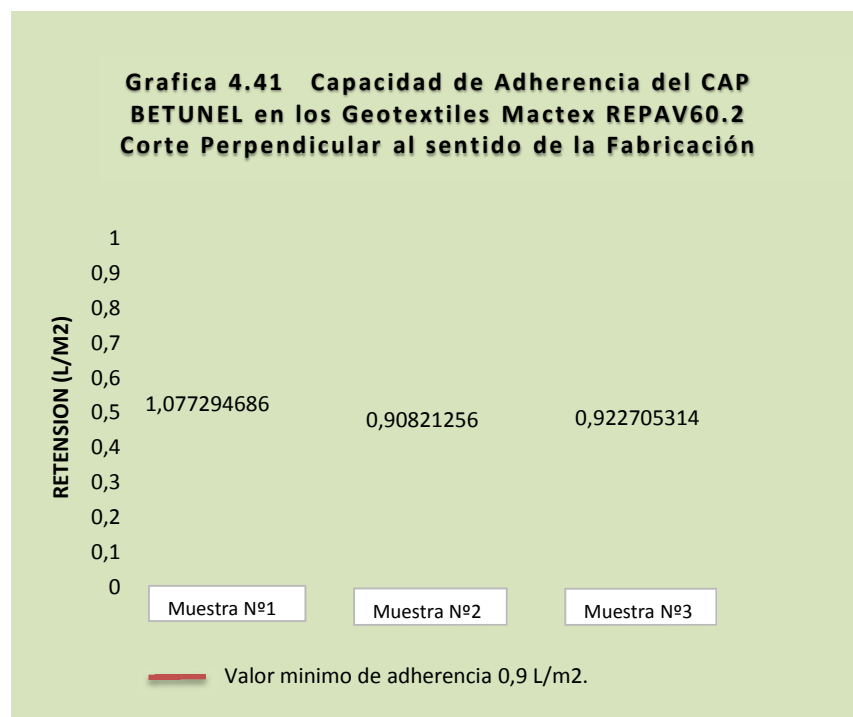
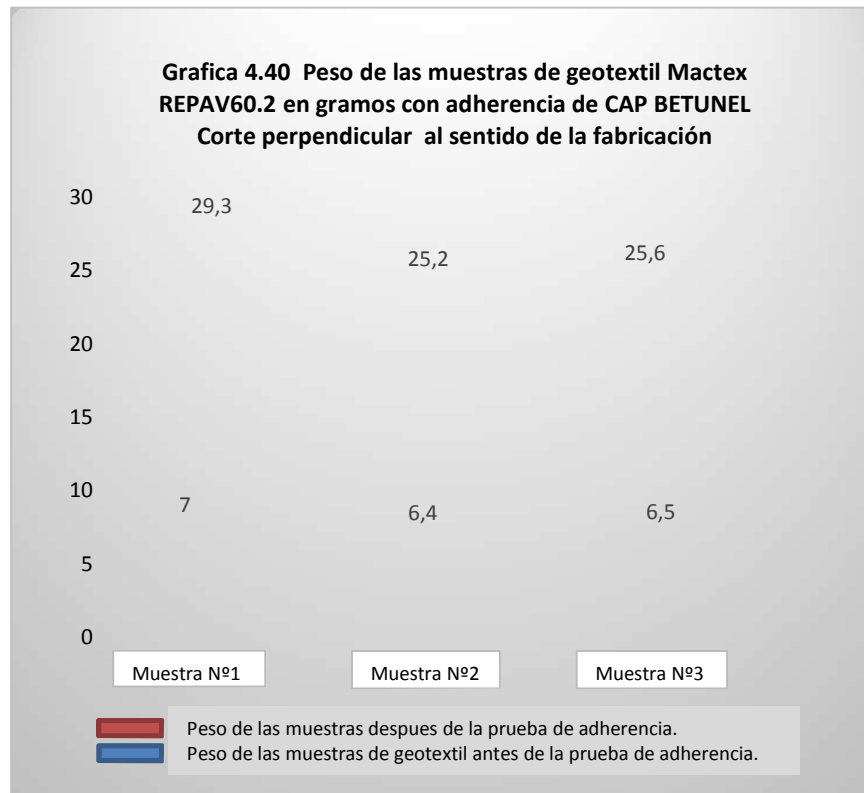




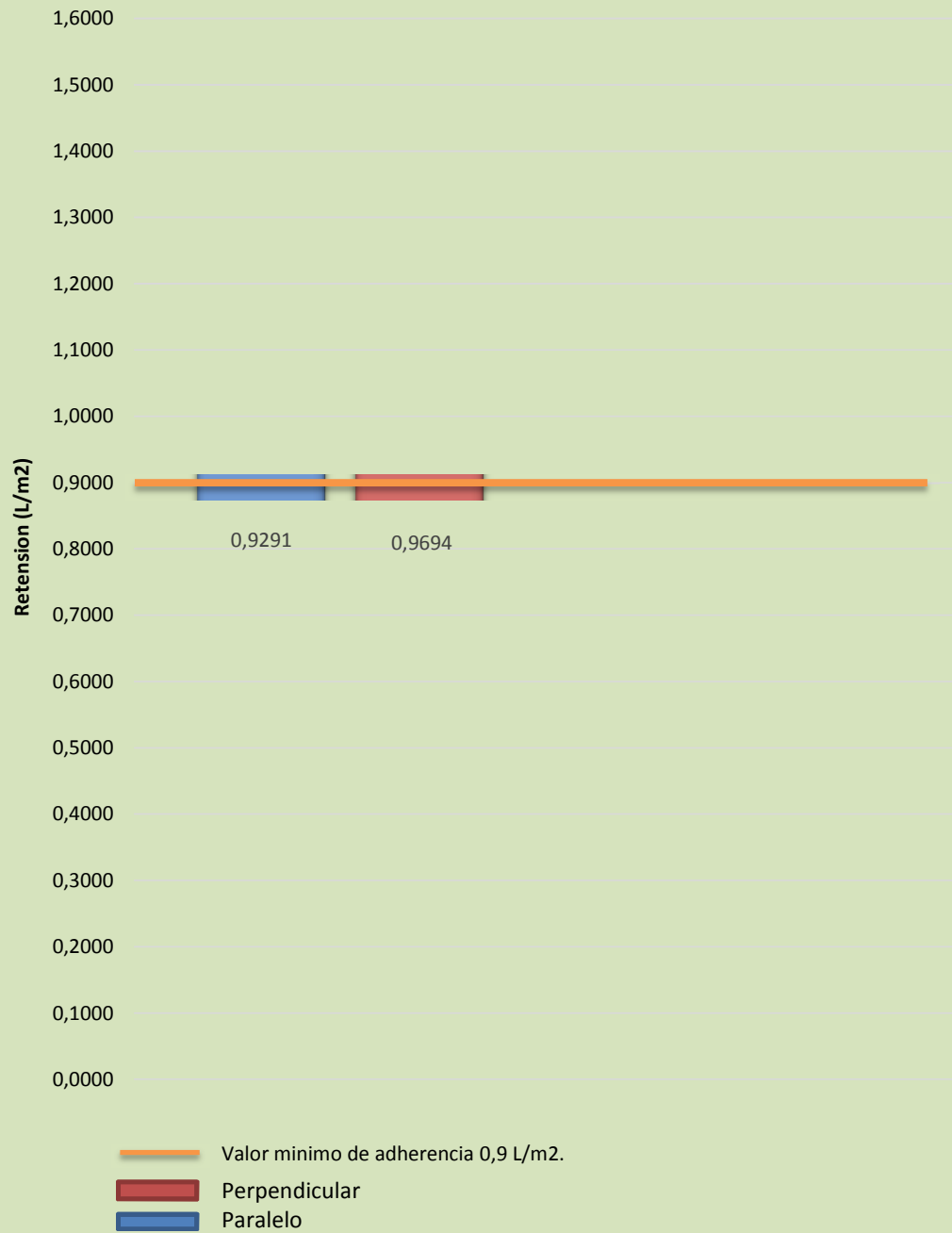
Gráfica 4.37 Comparación entre capacidad de adherencia promedio paralela y perpendicular de Asfalto CAP BETUNEL en Geotextil Mactex REPAV40.2 de Maccaferri

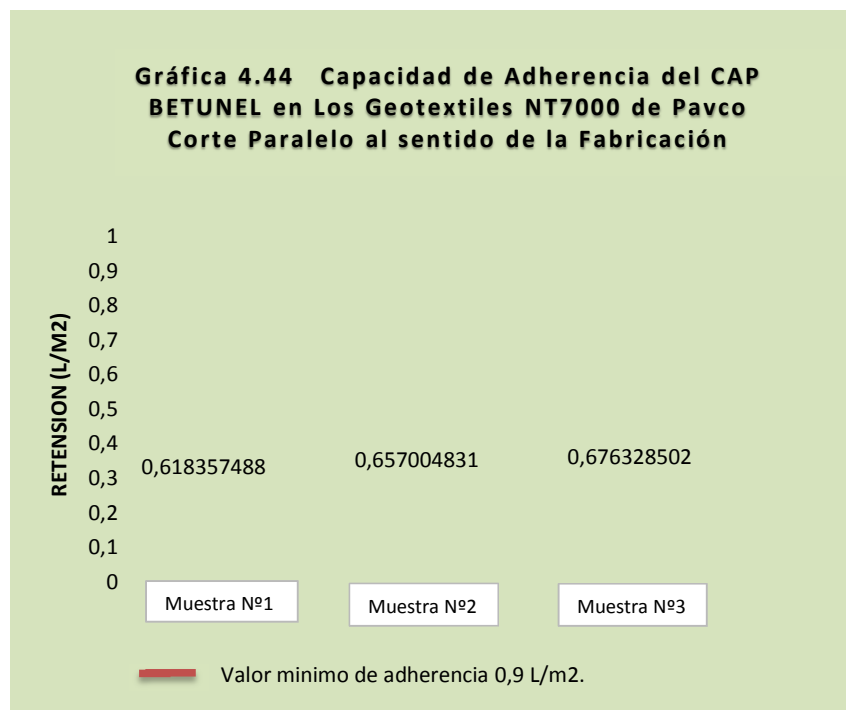
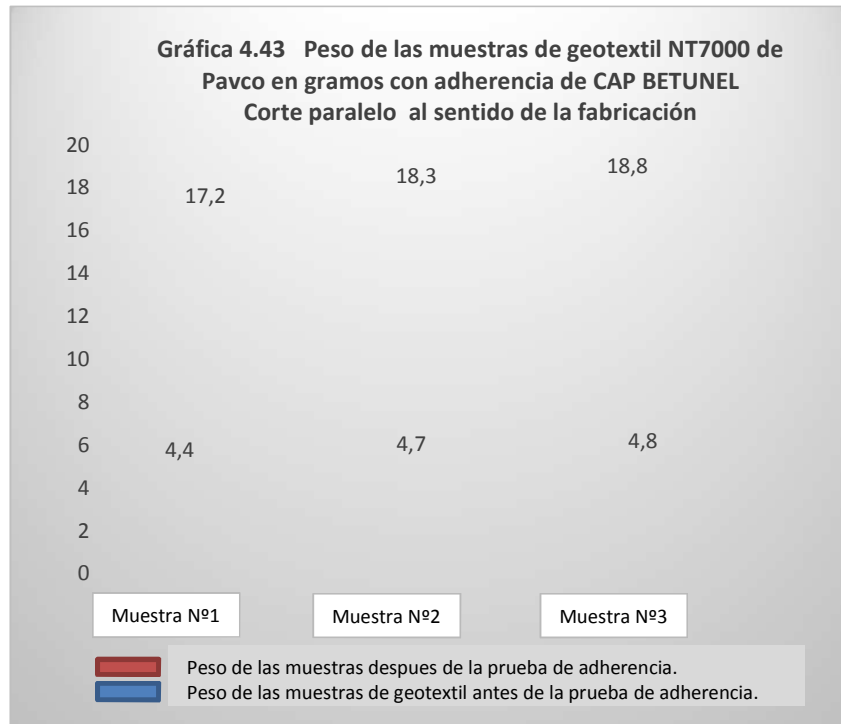


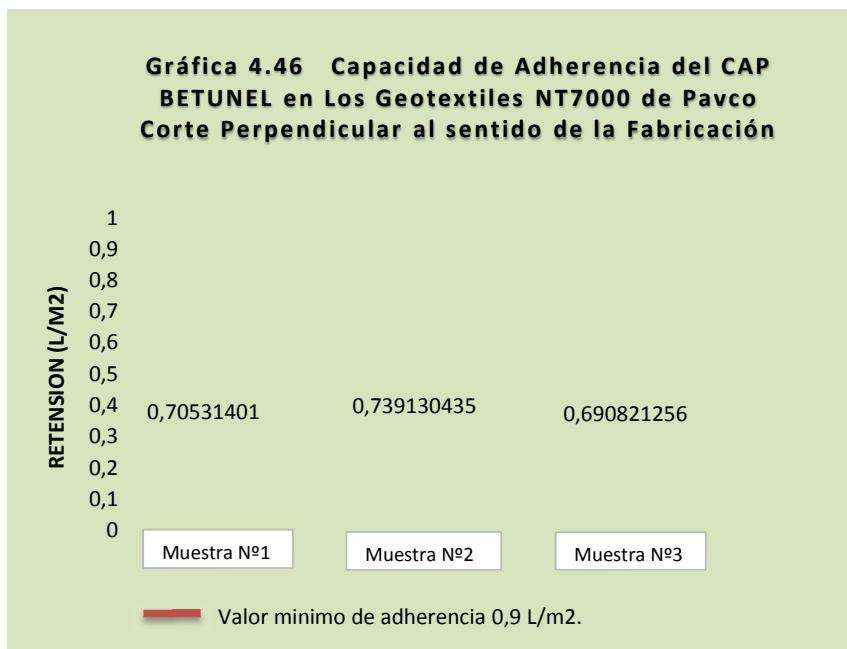




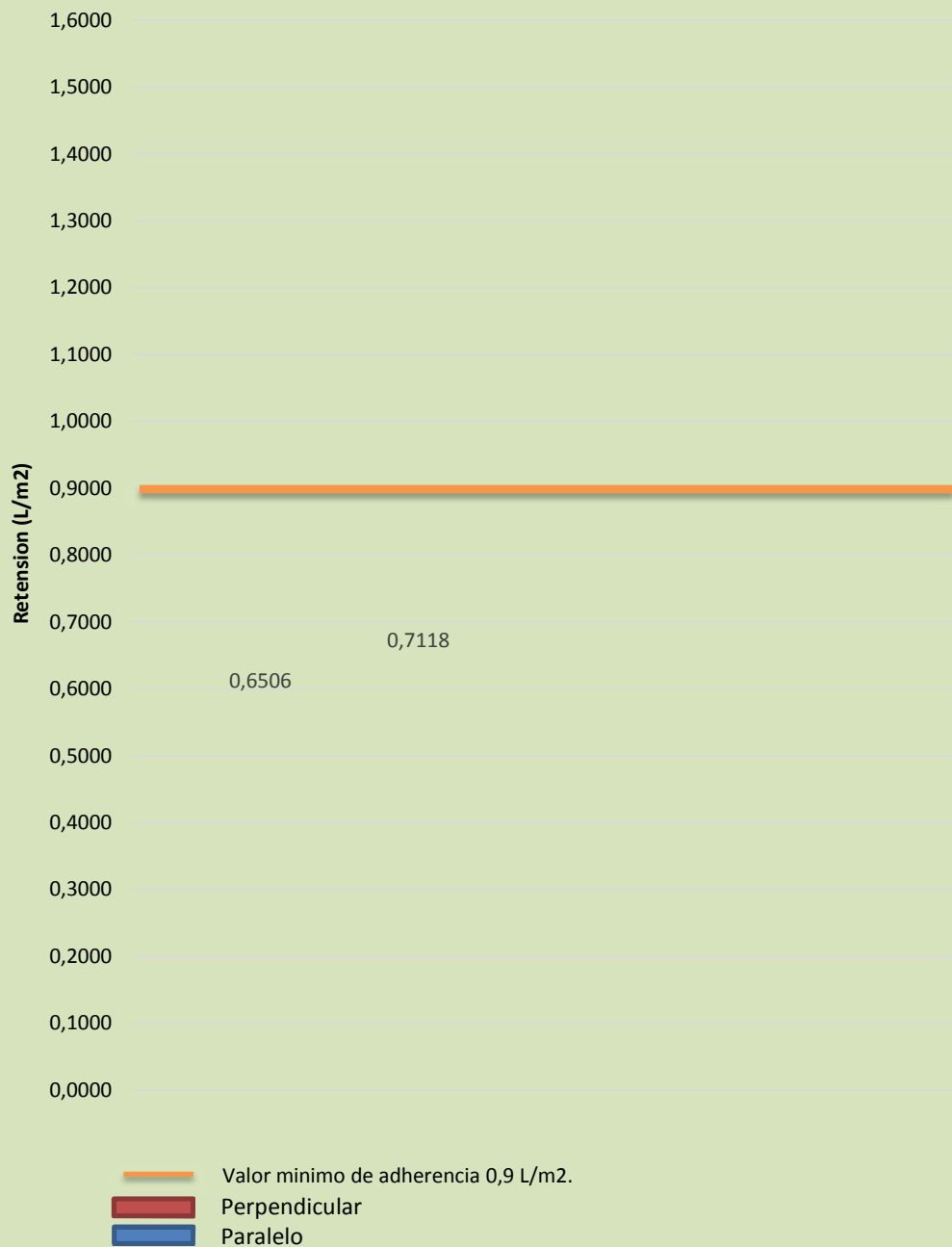
Gráfica 4.42 Comparación entre capacidad de adherencia promedio paralela y perpendicular de Asfalto CAP BETUNEL en Geotextil Mactex REPAV60.2 de Maccaferri







Gráfica 4.47 Comparación entre capacidad de adherencia promedio paralela y perpendicular de Asfalto CAP BETUNEL en Geotextil NT7000 de Pavco



**❖ GRÁFICA ESTADÍSTICA DE COMPARACIÓN DE ADHERENCIA DE
CAP DE BETUNEL EN LOS DIVERSOS GEOTEXTILES**

Promedio de retención de Asfalto Líquido CAP BETUNEL en Geotextil Mactex REPAV40.2:

Retención Paralela = 0,9308 L/m²

Retención Perpendicular = 0,9452 L/m²

Promedio de retención = 0,9380 L/m²

Promedio de retención de Asfalto Líquido CAP BETUNEL en Geotextil Mactex REPAV60.2:

Retención Paralela = 0,9291 L/m²

Retención Perpendicular = 0,9694 L/m²

Promedio de retención = 0,9493 L/m²

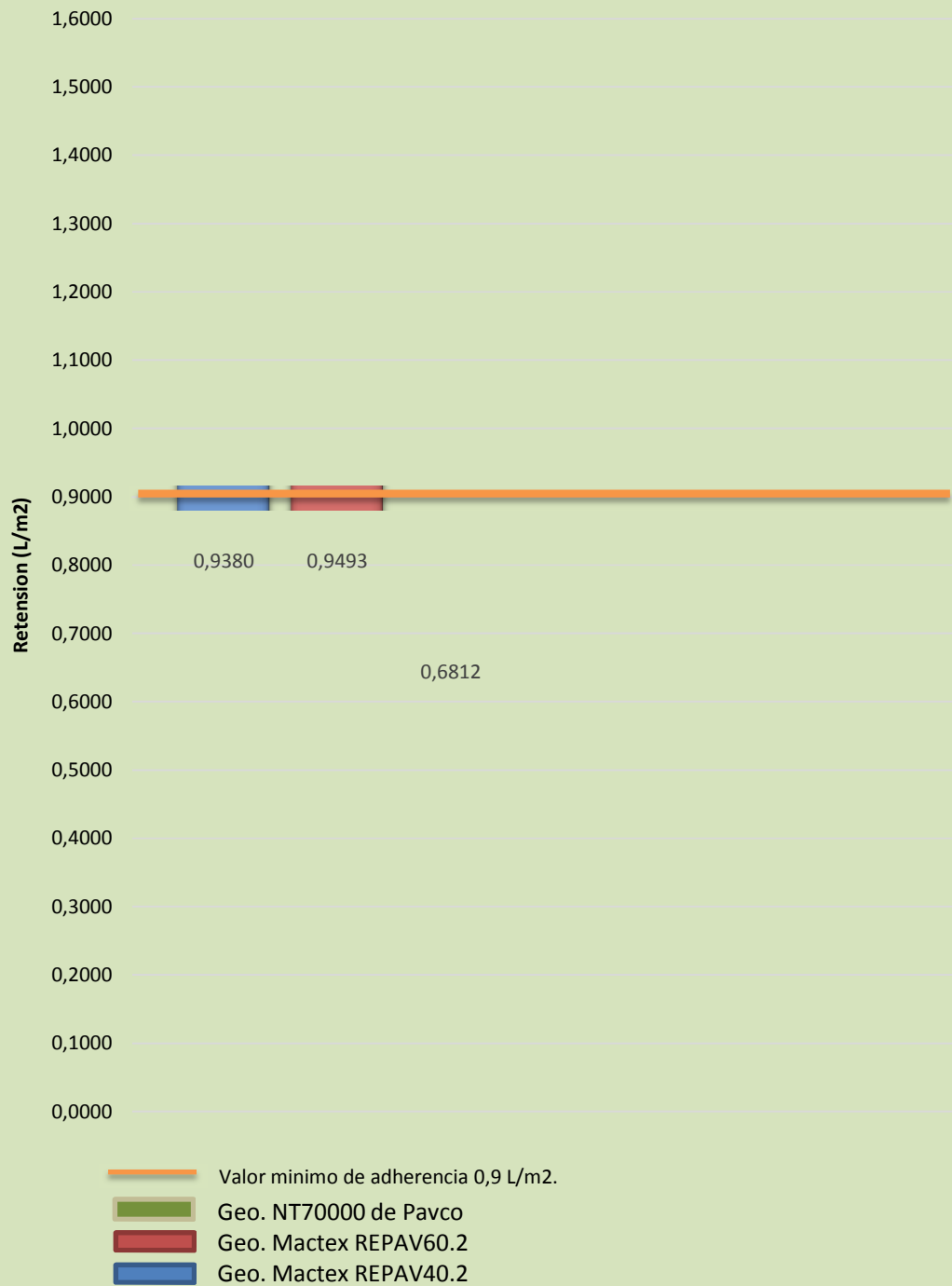
Promedio de retención de Asfalto Líquido CAP BETUNEL en Geotextil NT7000 de Pavco:

Retención Paralela = 0,6506 L/m²

Retención Perpendicular = 0,7118 L/m²

Promedio de retención = 0,6812 L/m²

**Gráfica 4.48 Comparación de adherencia de Asfalto
CAP BETUNEL en Geotextiles Maxtec REPAV40.2,
Mactex REPAV60.2 y NT7000 de Pavco**



4.2.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Una de las propiedades físicas de los geotextiles es el gramaje, es decir la masa por unidad de área; la cual es un parámetro fundamental en el comportamiento de adherencia, cuyo valor mínimo que deben poseer las muestras de geotextiles es de 140 gr/m², para su empleo en saturación con asfalto. Esta propiedad física del material fue calculada para cada muestra del geotextil empleado en la prueba de laboratorio, cuyos resultados se hallan plasmados en tablas en los anexos; con el fin de verificar el gramaje mínimo necesario para su empleo en adherencia con el asfalto.
- Del cálculo del gramaje se determinó que el geotextil REPAV60.2 tiene mayor gramaje (320 gr/m²) que el geotextil REPAV40.2 (210 g/m²), por tanto la retención es mayor por parte del primero; lo cual se verificó una vez realizada la prueba de adherencia con los tres tipos de asfaltos en forma particular.
- El fabricante Geosistemas PAVCO y MACCAFERRI garantizan las propiedades físicas (gramaje, espesor y porosidad) y mecánicas (Resistencia a la tracción, punzonamiento, explosión, perforación por impacto y desgarró) del material geotextil en las especificaciones técnicas de sus manuales de instalación y aplicación de los mismos en diversas obras, ya sea del geotextil NT7000 de PAVCO (Espesor de 3,2 mm; Gramaje promedio calculado de 210 gr/m²; Porosidad promedio calculada de 90,50%) o del geotextil REPAV40.2 (Espesor 3,3 mm; Gramaje promedio calculado de 210 g/m²; Porosidad promedio calculada de 93,49%) y REPAV60.2 (Espesor 4 mm; Gramaje promedio calculado de 320 gr/m²; Porosidad Promedio calculada de 94,32%) de MACCAFERRI, empleados en la investigación desarrollada. Del cálculo de la porosidad presentados en los anexos, se determinó que todas las muestras de los diferentes geotextiles empleados en el ensayo tienen una

porosidad mayor al 80%; factor muy importante que garantiza que el geotextil tendrá un eficiente comportamiento como un contenedor de asfalto.

- Se verificó del cálculo de la porosidad, que el geotextil Mactex REPAV60.2 presenta mayor porcentaje de porosidad (Valor promedio de 94,32%) que el Geotextil Mactex REPAV40.2 (Valor promedio de 93,49%) que a la vez presenta mayor porcentaje de porosidad que el Geotextil NT7000 de PAVCO (Valor promedio de 90,50%), esto se demostró con sus comportamientos como contenedores de asfalto en el ensayo de retención.
- El asfalto líquido FLEXPIMER, una vez dentro del horno mecánico en un intervalo de 1hrs a 40°C, no presentó inconveniente en su comportamiento ya que su punto de inflamabilidad es $\geq 60^{\circ}\text{C}$; su autoinflamabilidad $> 224^{\circ}\text{C}$ y lo más importante su punto de ebullición es $> 125^{\circ}\text{C}$; datos obtenidos de la Ficha de datos de seguridad del Asfalto Líquido FLEXPIMER. Estos valores se tuvieron muy en cuenta en el desarrollo de la práctica de laboratorio para evitar accidentes.
- El asfalto líquido ADP de STRATURA ASFALTOS dentro del horno mecánico en un intervalo de 1hrs a 60°C, no presentó inconveniente; aunque su punto de inflamabilidad es $\geq 38^{\circ}\text{C}$ por lo que se tuvo mucho cuidado; su autoinflamabilidad $> 200^{\circ}\text{C}$; datos extraídos de especificaciones técnicas para asfaltos diluidos de STRATURA ASFALTOS. Estos valores se tuvieron muy en cuenta en el desarrollo de la práctica de laboratorio para evitar accidentes.
- El Cemento Asfáltico de Petróleo 85/100(CAP), al ser un producto madre, es decir un asfalto sólido; su punto de inflamabilidad mínima es $\geq 235^{\circ}\text{C}$, dato obtenido de las Especificaciones de CAP (Cemento Asfáltico de Petróleo) 85/100 de BETUNEL, para su manejabilidad en la práctica se procedió a elaborar un asfalto líquido de curado medio MC-250 es decir 70%

CAP(85/100) y 30% diésel; al calentarlo a 135°C en un intervalo de 1hrs y una vez realizando la práctica se observó que a esa temperatura se producían vapores lo cual sería justificado ya que el diésel tiene sus límites de inflamabilidad 64°C – 150°C y su punto de ignición 64°C; por tanto se tuvo cuidado para evitar accidentes.

- Una vez realizada la prueba de retención, de manera visual se observó que de primera mano los geotextiles REPAV40.2 y REPAV60.2; tardaron más en drenar el exceso de asfalto (6hrs), demostrando así su capacidad de retención; observando también que en el geotextil NT7000 de PAVCO el drenado correspondiente transcurrió en 3 hrs. El fabricante indica cual ha de ser las posibles aplicaciones de su material geotextil debido a sus propiedades físicas (gramaje, espesor y porosidad), mecánicas (Resistencia a la tracción, punzonamiento, explosión, perforación por impacto y desgarró) e hidráulicas (Permeabilidad: permisividad y transmisibilidad). Siendo esto demostrado por el tiempo de drenado de excesos y capacidad de retención por parte de los geotextiles REPAV 40.2 y REPAV60.2; los cuales son de uso exclusivo en la elaboración de una interfaz viscoelastica en repavimentación; sabiendo que fueron desarrollados con exclusividad y estricto control de calidad para su adherencia con dichos ligantes asfálticos; estos materiales geotextiles están elaborados a partir de fibras o filamentos de polímeros sintéticos (polipropileno) superpuestos en forma laminar, entrelazados mediante el punzonamiento por agujas; garantizando este método un espesor constante del geotextil lo cual es ideal para el comportamiento de adherencia. Ahora al hablar del tiempo de drenado de excesos del geotextil NT7000 de PAVCO, verificamos que este tiene una capacidad de transmisibilidad y permisividad de asfalto mayor a través de su plano que los geotextiles REPAV40.2 y REPAV60.2, debido a sus propiedades físicas e hidráulicas, el fabricante indica que este material es generalmente empleado como separador y filtro en vías.

- Al inspeccionar las muestras una vez realizada la prueba de adherencia de asfaltos en geotextiles, estas presentan una concentración de cemento asfáltico mayor sobre la superficie del tercio inferior de longitud que ocupó el lugar hacia abajo en el último período de escurrimiento, lo cual es debido a factores de influencia en la prueba de laboratorio, tales como la gravedad, las particularidades del comportamiento de adherencia de cada asfalto empleado individualmente y sobre todo sus características físicas y químicas.

- La adherencia del asfalto líquido FLEXPIMER en las diversas muestras de geotextiles ya sea REPAV40.2 de MACCAFERRI, REPAV60.2 de MACCAFERRI o NT7000 de PAVCO; no alcanzaron el valor mínimo de retención de 0,9 L/m². Por tanto con respecto a este asfalto no se obtuvo un modelo de adherencia asfalto/geotextil eficiente, aunque el geotextil REPAV60.2 de MACCAFERRI estuvo próximo, siendo este el empleado en el tramo de análisis.

- El empleo del asfalto líquido FLEXPIMER (MC-30) en el ensayo de adherencia con las diversas muestras de geotextiles tuvo un objetivo particular, de que al ser un asfalto fluidificado presentaría un mejor comportamiento de portabilidad, adherencia y penetración en las muestras de geotextiles, logrando así una saturación eficiente del material a una temperatura inferior de aplicación (40°C) que la común de un cemento asfáltico (135°C). Analizando el comportamiento de adherencia, se verificó que la cantidad de residuo asfáltico en las muestras es insuficiente (0,423 L/m² para el geotextil NT7000 de PAVCO; 0,8546 L/m² para el geotextil REPAV60.2 de MACCAFERRI; 0,6321 L/m² para el geotextil REPAV40.2 de MACCAFERRI) ya que el valor mínimo establecido por las normas **ASTM D-6140, INV E – 911** es de 0,9 L/m², se dedujo que fue debido a la composición del asfalto líquido FLEXPIMER (50% Asfalto/50% kerosene). Se entiende que al evaporarse el fluidificante derivado del petróleo (kerosene), el residuo asfáltico retenido en

la muestra de geotextil tan solo correspondería al 50% del volumen total de retención una vez finalizado el proceso de drenado de excesos.

- El empleo del asfalto líquido ADP (Asfalto Diluido de Petróleo) de STRATURA AFALTOS (MC-70) en el ensayo de adherencia con las diversas muestras de geotextiles tuvo un objetivo particular, de que al ser un asfalto fluidificado presentaría un mejor comportamiento de portabilidad, adherencia y penetración en las muestras de geotextiles, logrando así una saturación eficiente del material a una temperatura inferior de aplicación (60°C) que la común de un cemento asfaltico (135°C). Analizando el comportamiento de adherencia, se verifico que la cantidad de residuo asfaltico en las muestras ensayadas las embebió por completo (1,2142 L/m² para el geotextil NT7000 de PAVCO; 1,781 L/m² para el geotextil REPAV60.2 de MACCAFERRI; 1,4461 L/m² para el geotextil REPAV40.2 de MACCAFERRI), logrando así una saturación ideal que supero al valor mínimo establecido por las normas **ASTM D-6140, INV E – 911** de 0,9 L/m² y menor que el valor máximo admisible de saturación 2 L/m². Esto debido a la composición del asfalto líquido ADP de STRATURA ASFALTOS (60% Asfalto/40% Querosén) y a las características de los geotextiles No Tejidos Punzonados por agujas (funciones y aplicaciones).

- Al comparar la retención obtenida del asfalto líquido ADP (Asfalto Diluido de Petróleo) de STRATURA AFALTOS (MC-70) en el ensayo de adherencia con las diversas muestras de geotextiles (1,2142 L/m² para el geotextil NT7000 de PAVCO; 1,781 L/m² para el geotextil REPAV60.2 de MACCAFERRI; 1,4461 L/m² para el geotextil REPAV40.2 de MACCAFERRI), con los valores de retención extraídos de las cartillas de especificaciones de los fabricantes: MACCAFERRI (1 L/m² para geotextil Mactex REPAV40.2; 1,2 L/m² para geotextil Mactex REPAV60.2; PAVCO - Geotextil NT7000 no pose valor de retención de asfalto debido a que no fue diseñado para ser embebido

en asfalto), se verifico que son superiores tanto al valor mínimo de 0,9 L/m² establecido por las normas **ASTM D-6140, INV E – 911** y menor que el valor máximo admisible de saturación 2 L/m²; como también mayores a los valores mínimos de saturación establecidos por los fabricantes (A excepción del geotextil NT7000 de PAVCO, que solo fue empleado como objetivo de experiencia), lo que muestra que se obtuvieron resultados válidos aplicables ya que se hallan dentro de los rangos de tolerancia anteriormente expuestos.

- El empleo del CAP (Cemento Asfáltico de Petróleo) de BETUNEL en el ensayo de adherencia con las diversas muestras de geotextiles tuvo un objetivo particular, ya que al ser un cemento asfáltico semisólido manipulable a altas temperaturas (135°C), se pretendió mejorar su consistencia de portabilidad, adherencia y penetración en las muestras de geotextiles; fluidificándolo con un destilado de petróleo (diésel)(70/30 asfalto/diésel)(MC-250), logrando así una saturación eficiente del material a una temperatura de 135°C. Analizando el comportamiento de adherencia, se verificó que la cantidad de residuo asfáltico en las muestras ensayadas varía según el tipo de geotextil (0,6812 L/m² para el geotextil NT7000 de PAVCO; 0,9493 L/m² para el geotextil Mactex REPAV60.2 de MACCAFERRI; 0,938 L/m² para el geotextil Mactex REPAV40.2 de MACCAFERRI), logrando así una saturación ideal que supero al valor mínimo establecido por las normas **ASTM D-6140, INV E – 911** de 0,9 L/m² y menor que el valor máximo admisible de saturación 2 L/m², para los geotextiles Mactex REPAV60.2 y REPAV40.2, a diferencia del geotextil NT7000 de PAVCO que obtuvo un valor de retención inferior a 0,9 L/m² (El cual solo fue empleado como objeto de experiencia, ya que no fue diseñado para ser embebido en asfalto).

Al referirse a la comparación de los valores de retención proporcionados por los fabricantes y los obtenidos en los ensayos de laboratorio se verificó que aunque los valores de retención obtenidos (0,6812 L/m² para el geotextil NT7000 de PAVCO; 0,9493 L/m² para el geotextil Mactex REPAV60.2 de

MACCAFERRI; 0,938 L/m² para el geotextil Mactex REPAV40.2 de MACCAFERRI) sean mínimamente inferiores a los expuestos por el fabricante (1 L/m² para geotextil Mactex REPAV40.2; 1,2 L/m² para geotextil Mactex REPAV60.2; PAVCO - Geotextil NT7000 no pose valor de retención de asfalto debido a que no fue diseñado para ser embebido en asfalto), estos se hallan dentro de los rangos de tolerancia anteriormente expuestos.

- En los geotextiles REPAV40.2 y REPAV60.2 de MACCAFERRI, la adherencia por parte de los asfaltos ADP de STRATURA ASFALTOS y CAP de BETUNEL alcanzo superar el valor mínimo de retención (0,9 L/m²) y fueron menores que el valor máximo admisible de saturación (2 L/m²); por tanto son candidatos verosímiles para elegir al conjunto adherencia geotextil/asfalto más eficiente.
- El conjunto adherencia geotextil/asfalto más eficiente desde el punto de vista de retención sería el Asfalto Diluido de Petróleo (ADP) en adherencia con el geotextil MACTEC REPAV60.2 de MACCAFERRI, ya que se obtuvo 1,781 L/m² que supero el valor mínimo de 0,9 L/m² y fue menor que el valor máximo admisible de saturación (2 L/m²). Además que el geotextil indicado presento el mejor comportamiento de adherencia con los tres tipos de asfaltos empleados.
- Como segunda opción el conjunto adherencia del asfalto ADP de STRATURA ASFALTOS en adherencia al geotextil REPAV40.2 de MACCAFERRI obteniendo 1,4461 L/m² superando el valor mínimo de 0,9 L/m² y siendo menor que el valor máximo admisible de saturación (2 L/m²). Demostrando el correcto comportamiento del asfalto como adherente y del geotextil como contenedor.

- Superando el valor mínimo de 0.9 L/m² y siendo menor que el valor máximo admisible de saturación (2 L/m²), como tercera y cuarta opción tenemos; el CAP de BETUNEL en adherencia al geotextil REPAV60.2 de MACCAFERRI con 0,9493 L/m² y el CAP de BETUNEL en adherencia al geotextil REPAV40.2 de MACCAFERRI con 0,938 L/m²; opciones validas desde la óptica de retención ideal para la saturación del material.

5.1. CONCLUSIONES

- Al elegir qué tipo de geotextil se debe emplear en la adherencia con el asfalto, se consideró que las probetas o muestras del material deben presentar ciertas propiedades físicas para su correcto comportamiento de adherencia. Tales propiedades físicas como; el gramaje, que nos indica la masa por unidad de superficie es incondicional para su mayor o menor retención de asfalto siendo el valor mínimo de 140 g/m² (nuestras muestras cumplieron superando este valor mínimo), por lo cual nuestro geotextil a emplear fue un punzonado por agujas fabricado a base de fibras de polímero sintético de polipropileno, ya que este tipo de material y su estricto procedimiento de fabricación garantizan el espesor constante a lo largo de la superficie de área del material y la porosidad necesaria (> 80%) para actuar como un contenedor de asfalto.
- El empleo de asfaltos líquidos de curado medio (FLEXPRIMER y ADP de STRATURA ASFALTOS), en adherencia con las muestras de geotextiles, se debió a que estos productos son adelgazados con diluyentes volátiles derivados del petróleo (kerosene y diésel), dándole una mejor capacidad de penetración, envoltura, adhesión y cohesión por parte del asfalto diluido en los filamentos o fibras del geotextil , en los agregados sueltos y grado porosidad de la capa de concreto asfáltico antigua, pueden trabajarse a temperaturas de 40°C y 60°C respectivamente, evitándose temperaturas elevadas de 135°C necesarias para que un cemento asfáltico se torne fluido y aplicable en el ensayo de adherencia con geotextiles, evitándose accidentes en el laboratorio de asfaltos. Obteniéndose óptimos resultados de comportamiento de retención en los geotextiles REPAV40.2 y REPAV60.2,
- El empleo de un cemento asfáltico (CAP 85/100 - Cemento asfáltico de Petróleo de BETUNEL), fluidificado por un destilado del petróleo (diésel) para obtener un

MC-250 (70/30 asfalto/diésel), en adherencia con las muestras de geotextiles a 135°C, se llevó a cabo a fin de conocer el comportamiento de adherencia en esas condiciones, mejorando su capacidad de penetración, envoltura, adhesión y cohesión de las fibras o filamentos del geotextil, en los agregados sueltos y grado porosidad de la capa de concreto asfaltico antigua, obteniéndose resultados de retención óptimos en los geotextiles REPAV40.2 y REPAV60.2.

- El método estándar para determinar la retención de asfalto de geotextiles usados en repavimentaciones asfálticas ASTM D-6140, INV E – 911; nos da un valor indicativo para la saturación del geotextil (0,9 L/m²), este valor no deberá tomarse como absoluto, debido al estricto control de calidad y material (fibra o filamento de polímeros básicos) empleado en la fabricación de las muestras de geotextiles utilizados y características físicas - químicas de los asfaltos.
- Si bien los valores particulares de retención para cada tipo de conjunto adherencia geotextil/asfalto que se obtuvieron en los ensayos realizados difieren a los especificados en las cartillas técnicas para cada caso, los mismos están dentro del rango de aceptación para los geotextiles REPAV40.2 y REPAV60.2, a excepción del geotextil NT7000 de PAVCO que no fue diseñado para emplearlo como una membrana viscoelastoplastica; es decir embebido en asfalto, aunque presento resultados óptimos en adherencia con el ADP de STRATURA ASFALTOS; este geotextil solo fue empleado para verificar su comportamiento como experiencia de laboratorio.
- La variación de retención de asfalto en productos de la misma empresa y del mismo gramaje pueden variar, en muy pequeño rango, debido a la orientación, largo y densidad de fibras en la muestra tomada del rollo comercial. Esto comprobado gracias a la práctica de laboratorio y expresado en las Graficas estadísticas de adherencia de asfaltos en los diversos geotextiles según el sentido de fabricación.

- Al conocer la capacidad de adherencia efectiva de los asfaltos ADP de STRATURA ASFALTOS y CAP de BETUNEL en las muestras de geotextiles REPAV40.2 y REPAV60.2 en nuestros ensayos, garantizamos las funciones primordiales de estos materiales en las obras civiles, como ejemplo en la repavimentación (Barrera impermeabilizadora y Membrana amortiguadora de esfuerzos), una cantidad insuficiente de ligante en obra podría causar que el geotextil no se sature totalmente, perdiéndose el efecto de impermeabilidad o puede que la adhesión entre la interfase viscoelastica y las capas asfálticas antigua y nueva no sea suficiente, originando tiempo después una superficie potencial de falla por deslizamiento. Una cantidad excesiva de ligante generaría con el tiempo el problema de la exudación de asfalto.

- Estudios realizados por la empresa Geosistemas PAVCO, indican que 2/3 de los esfuerzos transmitidos por las cargas de tráfico son absorbidos y soportados por el ligante asfáltico que posee el conjunto adherencia geotextil/asfalto. El restante 1/3 es soportado por el material geotextil empleado. Esto no quiere decir que ambos materiales trabajen de manera separada, sino que la combinación de las propiedades y funciones específicas del conjunto adherencia geotextil/asfalto brindan un comportamiento ideal, como por ejemplo, frente al fenómeno de reflejo de fisuras en una recapado de concreto asfáltico. Por tanto dicha membrana viscoelastoplastica debe estar bien fundamentada en la idea de conjunto adherencia, es decir el geotextil debe estar completamente saturado en todo su volumen con una retención ideal de ligante asfáltico evitando excesos y falta del mismo, lo cual conllevaría al deficiente funcionamiento del conjunto adherencia en una obra de recapado de concreto asfáltico.

- Proceder con el ensayo de adherencia de asfaltos en geotextiles tal como lo indica la norma ASTM D-6140, INV E – 911; nos dan valores de retención referenciales en general, ya que al comparar las condiciones de todo ensayo en laboratorio con las que se dan en obra, sabemos que han de haber variantes (sentido de drenado de los excesos a través del geotextil, temperatura, espesor de geotextil y porosidad del

mismo) que influyan en el comportamiento de retención de asfalto por parte de los geotextiles, las cuales no han de ser muy significativas pero deben ser consideradas desde un punto de vista observativo y analítico, para sacar conclusiones y recomendaciones de la influencia de las mismas en lo futuro.

- Se determinó el conjunto adherencia geotextil/asfalto más eficiente con respecto a la retención; siendo este el asfalto ADP de STRATURA ASFALTOS en adherencia al geotextil REPAV60.2 de MACCAFERRI.
- La importancia de conocer la cantidad adecuada de ligante asfáltico para saturar el geotextil y el conjunto adherencia geotextil/asfalto más eficiente desde el punto de vista de retención; conllevaría a garantizar la adecuada conformación de la membrana viscoelastoplástica, estando seguros de que ambos materiales (geotextil/asfalto) trabajarían en conjunto, fusionando sus propiedades y funciones en toda su extensión; garantizando así sus funciones de membrana amortiguadora de esfuerzos y barrera contra el paso de líquidos que se habían profetizado del conjunto adherencia geotextil/asfalto. Esta membrana viscoelastoplástica sería empleada como una interfaz viscoelástica entre capas de concreto asfáltico antiguo y nuevo en obra de repavimentación, absorbiendo deformaciones causadas por esfuerzos de tensión entre ambas capas, prolongando así la vida útil de la misma y sobre todo evitando el denominado fenómeno de reflejo de fisuras debido generalmente a la fatiga debida a la sucesiva transferencia de cargas generadas por el tráfico.
- No se debe confundir conceptos, ya que en esta investigación se determinó la cantidad de asfalto necesaria para saturar el material geotextil (**Qs**), y no la cantidad de ligante asfáltico a utilizar en el riego de liga en una obra de repavimentación (**Qd**), ya que esta depende de la porosidad relativa del pavimento viejo y del geotextil ha ser saturado, garantizando así la correcta adhesión entre la capa nueva y vieja de concreto asfáltico. Button (1982), propone la siguiente ecuación para la

determinación de la cantidad de ligante asfáltico ha aplicar en el riego de liga de repavimentación:

$$Q_d = 0.362 + Q_s + Q_c$$

Q_d = Cantidad de ligante según diseño. (l/m²).

Q_s = Cantidad de ligante necesario para lograr la saturación del geotextil (l/m²).

Q_c = Valor de corrección dependiendo de las condiciones de la superficie del concreto asfáltico de la capa vieja. oscila entre 0.05 l/m² para superficies niveladas hasta 0.59 para superficies porosas y oxidadas.

- Una vez presentados y analizados los resultados de la investigación, se dedujo un criterio para la elección de qué tipo de geotextil es el más adecuado desde el punto de vista de retención; el material geotextil No tejido debe ser punzonado por agujas y elaborado a base de fibras sintéticas de polipropileno, este debe tener un espesor necesario para garantizar un gramaje (masa por unidad de área gr/m²) mayor a 140 g/m², esta característica conllevaría que exista una mayor cantidad de fibras de polipropileno sintético, conformando un mayor volumen total en el material y consecuentemente también habría mayor porcentaje de vacíos o poros (>80%) que darían al material geotextil No Tejido un comportamiento ideal como contenedor de asfalto. El ligante asfáltico se ha de adherir a las fibras de polipropileno y mientras mayor cantidad de fibras contenga el cuerpo del material geotextil no tejido, mayor será el volumen de asfalto contenido en la estructura del mismo. El material geotextil No Tejido apto para su empleo en el ensayo de adherencia con el asfalto, debe tener su punto de reblandecimiento o fusión mayor que la temperatura de manipulación y empleo del ligante asfáltico (150 – 250°C) con el fin de que sea capaz de mantener sus propiedades de resistencia e integridad una vez saturados en asfalto a las temperaturas de ensayo (40 – 60 – 135 – 250°C); esto es un criterio de diseño en los geotextiles No Tejido especialmente desarrollados para su empleo en procesos de repavimentación.

- Las planillas de precios unitarios presentes en los anexos, para cada conjunto adherencia geotextil No Tejido/Asfalto, eficientes desde el punto de vista de retención (0,9 - 2L/m²), nos indican el valor en bolivianos por metro cuadrado de la actividad de impermeabilización y antirreflejo de fisuras en repavimentación gracias a una interfaz viscoelástica (Geotextil No Tejido saturado en Asfalto).

CONJUNTO ADHERENCIA GEOTEXTIL NO TEJIDO/ASFALTO	Bs/m²	L/m²
Mactex REPAV60.2/Cemento Asfaltico de Petróleo (CAP)85/100	66,27	0,9493
Mactex REPAV40.2/Cemento Asfaltico de Petróleo (CAP)85/100	62,97	0,9380
Mactex REPAV60.2/Asfalto Diluido de Petróleo (ADP) MC-70	80,42	1,7810
Mactex REPAV40.2/ Asfalto Diluido de Petróleo (ADP) MC-70	73,07	1,4461

Analizando la tabla, se deduce que desde el punto de vista de retención el más adecuado es el conjunto adherencia Mactex REPAV60.2/Asfalto Diluido de Petróleo (ADP) MC-70 (Retención=1,7810L/m²; Precio Unitario=80,42 Bs/m²).

Desde el punto de vista de economía es ideal el conjunto adherencia Mactex REPAV40.2/Cemento Asfaltico de Petróleo (CAP) 85/100 (Retención= 0,938 L/m²; Precio Unitario=62,97 Bs/m²), ambos cumplen los rangos de saturación mínima (0,9 – 2 L/m²)

5.2. RECOMENDACIONES

- El asfalto solo puede ser calentado tres veces, si se supera esta restricción el producto presentará una variación considerable en sus propiedades físicas y químicas lo cual conlleva a que el material se torne inutilizable e inaplicable en cualquier práctica de laboratorio u obra civil.
- No es recomendado el empleo del geotextil NT7000 de PAVCO en adherencia con asfaltos, ya que este material No Tejido de polipropileno, conformado por un sistema de fibras, punzonado por agujas; no fue desarrollado con ese fin, demostrado lo anteriormente dicho en los resultados de nuestra práctica de laboratorio, aunque

presentó un buen comportamiento de adherencia con el asfalto líquido ADP de STRATURA ASFALTOS. Solo como objetivo de experiencia se utilizó el geotextil NT7000 en la práctica de adherencia en laboratorio, es decir solo para observar que comportamiento presentaría en dichas circunstancias ya que éste sería empleado generalmente para separación y filtración de suelos. Para aclarar esta idea debemos ser fieles a tres puntos clave en la elaboración del producto geotextil:

- **Visión de Producto:** El fabricante idealiza el problema a solucionar, observando las exigencias que se deben satisfacerse.
 - **Misión del fabricante:** Materializar el producto bajo estrictas condiciones de diseño en función a diversos problemas a solucionar.
 - **Aplicación en obra:** Respetar las propiedades del producto y sus diversas funciones y aplicaciones, basadas en sus propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas.
- No es recomendado el empleo de asfalto líquido FLEXPIMER en adherencia con los geotextiles correspondientes, ya que en nuestro ensayo de adherencia no se obtuvo en ningún caso el valor mínimo de adherencia (0,9 L/m²), lo cual confiere que no existe en este caso ningún conjunto adherencia asfalto/geotextil recomendado para su uso en obra civil.
- No es recomendable el empleo de asfaltos modificados (dilución de polímeros en asfalto) diluidos en solventes derivados del petróleo, aunque mejorarían considerablemente la retención por parte del geotextil de asfalto (debido a la presencia de polímeros disueltos en el asfalto), debido a que la temperatura que éstos necesitan para su aplicación sería más elevada que la de un cemento asfáltico común (135°C), por tanto sobrepasarían o alcanzarían el punto de ablandamiento de los polímeros constituyentes del geotextil, debilitando considerablemente la resistencia, propiedades mecánicas y físicas garantizadas por los fabricantes en las especificaciones técnicas del geotextil.

- Las membranas viscoelastoplásticas, resultado del ensayo de adherencia, no deben ser consideradas como un refuerzo, ya que refuerzo significa redistribución de fuerzas debido a la inclusión de un material rígido, de alta resistencia a la tracción y que presenta un módulo de elasticidad mayor que el material que irá a reforzar; por tanto debemos referirnos a ellas como capas o interfaces aliviadoras/parciales de esfuerzos de tensión debido solo a la fatiga del material, que ocasionan el reflejo de fisuras entre las capas de concreto asfáltico antiguo y nuevo, redireccionando horizontalmente la energía ascendente de las grietas originales y no así capaces de soportar de manera directa los esfuerzos de tensión transmitidos por las cargas de tráfico. Si las fisuras se deberían a un deficiente diseño estructural o mala adhesión entre capas antigua y nueva de concreto asfáltico, se debe considerar la inclusión de una geored o geomalla de fibra de vidrio aptas para el refuerzo de esa magnitud; conformando un conjunto de funciones de geosintéticos; es decir la interfaz viscoelástica como barrera contra el paso de líquidos y la geomalla de fibra de vidrio como un refuerzo efectivo. Una interfaz viscoelástica tiene una resistencia máxima a la tracción de 1,248 KN, mientras que una geomalla tiene una resistencia a la tracción entre 60 y 1200 KN respectivamente, información proporcionada por los geosistemas PAVCO Y MACCAFERRI.

- Obtener los materiales ya sean geotextiles/asfaltos para la realización del ensayo de adherencia conllevó mucho tiempo, por lo cual se recomienda para futuras investigaciones, plantear convenios entre la "Universidad Autónoma Juan Misael Saracho" y entidades públicas o empresas particulares (SEDECA, Alcaldía Municipal, Empresa Constructoras Privadas) para facilitar el material de manera directa y sin interés alguno. Siendo esto de gran ayuda para el universitario y para los fines investigativos de la casa superior de estudios.

- Incluir dentro del programa de Laboratorio de Asfaltos de la "Universidad Autónoma Juan Misael Saracho", el tema de los geosintéticos para que el estudiante

de la carrera de Ingeniería Civil pueda conocer los tipos que hay físicamente y pueda estar más preparado al trabajar como un profesional, ya que, no solo existe la aplicación en repavimentación sino en otras áreas de la ingeniería civil, ya que, en la actualidad los beneficios técnico económicos son excelentes y es una tecnología que ayuda al medio ambiente, lo asegura la empresa Geosistemas PAVCO en sus manuales de aplicación de estos productos.

- El material geotextil como se dijo anteriormente es inerte a la acción de los agentes químicos y biológicos presentes en el medio donde se ha de emplear, pero se debe tener muy en cuenta que estos materiales al ser fabricados exclusivamente de polímeros sintéticos (Polipropileno, polietileno) son degradables frente a la acción prolongada a los rayos UV procedentes de la radiación solar. Por tanto una vez abierto el rollo de material geotextil cualquiera que sea la marca del mismo se debe evitar que las muestras estén expuestas en obra a la luz solar por mucho tiempo; ya que se produciría la alteración de las funciones y propiedades básicas del material.
- En el caso de emplear un asfalto líquido de curado rápido es decir cuyo diluyente sería la gasolina, se deben tomar en cuenta el punto de ebullición, inflamabilidad y auto inflamabilidad del ligante asfáltico, con el fin de evitar accidentes en el horno ya que los asfaltos se trabajan a altas temperaturas.
- Se debe tomar en cuenta que al emplear asfaltos líquidos es decir fluidificados con un solvente derivado del petróleo en adherencia al geotextil para conformar una interfaz viscoelastoplastica en una repavimentación, se debe tener en cuenta que la aplicación del geotextil en obra debe darse una vez finalizándose el proceso de curado (evaporación de las fracciones livianas o volátiles del asfalto líquido al ser expuestas a las condiciones atmosféricas), constatándose de la total evaporación de la fracción ligera del asfalto (solventes) una vez puesto y embebido el geotextil, para proceder recién con el recapado; esto debido a que se debe considerar al geotextil como una barrera momentánea para la ascensión a la atmósfera de las fracciones

ligeras del asfalto, formando momentáneamente interfaces gaseosas que pueden afectar la correcta adherencia entre el geotextil y las capas asfálticas antigua y nueva, una vez procedido el recapado.

- En futuras investigaciones sobre el tema se sugiere un análisis a profundidad del comportamiento de retención, la determinación de retenciones máximas y mínimas por parte del geotextil aplicado en el ensayo, debido a que al inspeccionar las muestras una vez realizada la prueba de adherencia de asfaltos en geotextiles, estas presentan una concentración de cemento asfáltico mayor sobre la superficie del tercio inferior de longitud que ocupó el lugar hacia abajo en el último período de escurrimiento, lo cual es debido a factores de influencia en la prueba de laboratorio; tales como la gravedad, las particularidades del comportamiento de adherencia de cada asfalto empleado individualmente y sobre todo sus características físicas y químicas. Esto se llevaría a cabo segmentando las muestras de geotextiles saturados en tres secciones, con el fin de analizar el comportamiento de adherencia y conocer entre que limites se hallaría.