

**ESTUDIO DE CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LIGANTES ASFÁLTICOS
MODIFICADOS CON FIBRAS**

**ANGELICA HENAO RAMOS
LENNY ASTRID MANCERA GOMEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2014**

**ESTUDIO DE CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LIGANTES ASFÁLTICOS
MODIFICADOS CON FIBRAS**

**ANGELICA HENAO RAMOS
LENNY ASTRID MANCERA GOMEZ**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero civil**

**Director
EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN
Ingeniero Civil, PhD.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2014

Le agradezco a Dios por su amorosa compañía a lo largo de mi carrera, mi apoyo en todo momento, mi verdadero amigo que animó mi corazón a continuar.

Le doy gracias a mi mamá por su incondicional apoyo, a mi hijo Jesús David por su amor, paciencia y espera. A familiares y amigos que siempre serán parte importante en mi vida los cuales la han llenado de amor y alegría.

Agradezco la confianza, dedicación, apoyo y el compartir de sus conocimientos a mis queridos profesores, todos ejemplo de rectitud y honorabilidad, los quiero y respeto profundamente.

Gracias a John, esperancita, Alejandra y Tatis, porque en esta ciudad sin familiares fueron mi familia.

A mi abuelito Isidoro y a mi abuelita Elvia que con su ejemplo, dedicación y amor me llevaron a ser quien soy.

Al Doctor Eduardo Castañeda por su interés, apoyo, tiempo y amistad durante el desarrollo del proyecto.

Con amor, Angélica Henao Ramos.

*Agradezco a Dios por haberme guiado y por permitirme
cumplir esta meta,*

*A mis padres por ayudarme a culminar esta meta,
siendo siempre un apoyo incondicional.*

*A mis hermanas Paola y Martha por escucharme en
cualquier momento y ser otro apoyo en mi vida.*

A mis amigos por los momentos juntos.

*A todos por llenar mi vida de alegría y grandes
momentos.*

Astrid Mancera.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
OBJETIVO GENERAL	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1. RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA	18
1.1. FIBRAS EN LOS LIGANTES BITUMINOSOS	18
1.2. MODIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CONCRETOS BITUMINOSOS POR LAS FIBRAS	18
2. METODOLOGÍA.....	20
2.1. TIPO DE LIGANTE BITUMINOSO	20
2.2. TIPOS DE FIBRAS	21
2.2.1. Sintéticas.....	22
2.2.2. Naturales.....	24
2.3. ENSAYOS	26
2.3.1. Selección de fibras con base en prueba de adherencia.....	26
2.3.2. Densidad de las fibras.....	28
2.3.3. Caracterización del asfalto–fibra	29
3. RESULTADOS	30
3.1. SELECCIÓN DE FIBRAS	30
3.2. MEZCLAS EVALUADAS	33
3.3. MODIFICACIONES EN EL COMPORTAMIENTO.....	34
4. CONCLUSIONES.....	40
BIBLIOGRAFIA.....	41
ANEXOS.....	43

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla1. Características de las fibras.....	28
Tabla2. Cantidad de las fibras.....	32
Tabla3. Probetas y porcentajes de fibra.....	33

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Concreto bituminoso con fibra.....	18
Figura2. Características del asfalto.....	19
Figura3. Curva reologica del asfalto 60-70.....	20
Figura4. Viscosidad del asfalto 60-70.....	20
Figura5. Tipos de fibras.....	21
Figura6. Fibra de Acero Galvanizado.....	22
Figura7. Asfalto fundido con fibra.....	25
Figura8. Fibra desprendida.....	26
Figura9. Fibra oxidada.....	27
Figura 10. Fibras seleccionadas.....	27
Figura11. Probeta de asfalto.....	28
Figura12. Proceso de selección de las fibras.....	29
Figura13. Fibras (Fique, Sikaplan, FlexaNylon).....	29
Figura14. Tabla de propiedades mecánicas de la fibra de fique.....	30
Figura15. Características físicas, Físico-químicas y Químicas de Sikaplan 15 PR.....	31
Figura16. Ensayos de tracción.....	33
Figura17. Comparación de las curvas de rigidez para la fibra de Fique.....	34
Figura18. Comparación de las curvas de rigidez para la fibra deSikaplan.....	34
Figura19. Comparación de las curvas de rigidez para la fibra deFlexaNylon.....	35
Figura20. Comparación de las curvas de resistencia para la fibra deFique.....	36
Figura21. Comparación de las curvas de resistencia para la fibra deSikaplan.....	36
Figura22. Comparación de las curvas de resistencia para la fibra deFlexaNylon..	37

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. GRAFICAS P1ASFALTART.....	43
ANEXOB. GRAFICAS P1FQ.....	44
ANEXOC. GRAFICAS P3FQ.....	45
ANEXOD. GRAFICAS P5FQ.....	46
ANEXOE. GRAFICAS P1SK.....	47
ANEXOF. GRAFICAS P3SK.....	48
ANEXOG. GRAFICAS P5SK.....	49
ANEXOH. GRAFICAS P1FF.....	50
ANEXO I. GRAFICAS P3FF.....	51
ANEXO J. GRAFICAS P5FF.....	52

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO DE CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LIGANTES ASFÁLTICOS MODIFICADOS CON FIBRAS. *

AUTOR: ANGÉLICA HENAO RAMOS
LENNY ASTRID MANCERA GÓMEZ **

PALABRAS CLAVES: Asfalto, fibras, rigidez, resistencia.

La firme competitividad científica, que día a día indaga en la ejecución de nuevas preferencias en el diseño de pavimentos flexibles, ha traído grandes adelantos en este campo, buscando mejorar las características que presentan las mezclas asfálticas convencionales.

La presente investigación propone trabajar en la evaluación del asfalto modificado mediante la adición de fibras por medio de pruebas en el laboratorio con sus respectivos análisis de resultados, para forjar conocimiento en el área investigativa de elementos y materiales para diseños de mezclas de pavimentos. En el proceso de investigación se realizaron pruebas preliminares de adherencia seleccionando tres tipos de fibras por medio de la observación (FlexaNylon Fiber, Sikaplan, Soga de Fique), procediendo a definir el porcentaje de fibra con respecto al volumen de asfalto en diferentes proporciones (1%, 3% y 5%). El ligante que se utilizó para la realización de esta investigación es asfalto de índice de penetración 60/70.

Se compararon las propiedades mecánicas del material asfalto-fibra con la maquina METRAVIB DMA+1000 obteniendo resultados de rigidez y resistencia. La adición de fibras a ligantes asfálticos mejora sus propiedades mecánicas. El porcentaje óptimo para ser adicionado al ligante es el 5% para la fibra de fique, 3% para la de FlexaNylon, pero para el material reciclado cortado en filamentos Sikaplan fue del 1%.

En este estudio las fibras seleccionadas, se sometieron a diferentes pruebas para determinar, evaluar y caracterizar las propiedades mecánicas del material; su funcionalidad al reforzar el asfalto con las fibras comprobó que es viable ampliar este estudio para diseñar pavimentos con mejores características mecánicas, las cuales modernizan significativamente el desempeño de los pavimentos de asfalto tradicionalmente desarrollados.

*Proyecto de Grado.

** Facultad de Ingeniería Físico – Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: PhD. Eduardo Alberto Castañeda Pinzón.

ABSTRACT

TITLE: STUDY OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF ASPHALT BINDERS MODIFIED WITH FIBERS. *

AUTHORS: ANGÉLICA HENAO RAMOS
LENNY ASTRID MANCERA GÓMEZ **

KEY WORDS: Asphalt, fiber, stiffness, strength.

The firm scientific competitiveness, which explores everyday executing any new preferences in the design of flexible pavements, has brought great advances in this field, seeking to improve the characteristics that present conventional asphalt mixtures.

The present investigation proposes to work in the evaluation of modified asphalt by adding fibers by means of laboratory tests with their respective analysis results to forge knowledge in the research area of elements and materials for pavement mixture designs. In the preliminaries investigation process by selecting three adhesion tests fibers through observation (FlexaNylon Fiber, Sikaplan Soga De Fique), proceeding to define the percentage of fiber to the volume of asphalt in different proportions (1%, 3% and 5%). The binder to be used for performing this investigation is asphalt penetration index 60/70.

Were evaluated mechanical properties material asphalt-fiber with METRAVIB DMA + 1000 getting results in stiffness and strength. The addition of fibers to asphalt binder improvement their mechanical properties. The optimum percentage to be added to the binder is 5% for Fique fiber, 3% for the FlexaNylon Fiber, but for the recycled material that was cut into filaments Sikaplan was 1%.

In this study the selected fibers were subjected to various tests to determine, assess and characterize the mechanical properties of the material; Functionality to reinforce asphalt with fibers found that extending this study to design pavements with better mechanical properties, which significantly modernized the performance of asphalt pavements traditionally developed.

* Proyecto de grado.

** Physical Mechanical Engineering Faculty. Civil Engineering School. Director: PhD. Eduardo Alberto Castañeda Pinzón.

INTRODUCCIÓN

La constante competencia tecnológica, que cada día busca implementar nuevas tendencias más favorables, ha traído grandes adelantos en el campo del diseño de pavimentos, permitiendo mejorar las características que presentan las mezclas asfálticas convencionales.

Los ligantes asfálticos reforzados con fibras naturales y sintéticas, presentan excelentes propiedades mecánicas, permitiendo aumentar la rigidez y la resistencia. Los factores básicos en el refuerzo son la resistencia, la dureza y la relación forma de la fibra, la compatibilidad con la matriz y la concentración de la fibra en el compuesto final.

El asfalto para la realización de esta investigación es asfalto de índice de penetración 60/70. La construcción y operación de carreteras asfálticas son un reto para el desarrollo de nuestro país. Aunque las capas de rodadura siempre van a presentar problemas periódicos; este ligante asfáltico pretende minimizar el problema y los costos, los cuales podrían ser utilizados por el gobierno en educación o salud. Los usuarios serían los más beneficiados por disponer de vías más resistentes por tanto más seguras ya que las dificultades por daños serían menores, razón que justifica este estudio.

OBJETIVO GENERAL

Caracterizar asfaltos modificados con fibras.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la adherencia del asfalto con diferentes tipos de fibras.
- Caracterizar los componentes y el material compuesto al mezclar fibras con asfalto.
- Determinar las propiedades de rigidez y de resistencia a la fractura de asfaltos modificados con fibras.

1. RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA

La modificación de ligantes asfálticos mejora sus propiedades de acuerdo al material que se adicione.

1.1. FIBRAS EN LOS LIGANTES BITUMINOSOS

Las fibras son materiales que mejoran las propiedades de las mezclas bituminosas para carreteras. Las fibras son estructuras unidimensionales largas y delgadas, se doblan con facilidad su longitud es muy superior a su diámetro y su orientación a lo largo de un solo eje les confiere una gran cohesión molecular. Existen diferentes tipos de fibras, naturales y sintéticas. [1]

El asfalto modificado con fibras es el producto de la incorporación de estas al asfalto para mejorar sus propiedades mecánicas y disminuir la susceptibilidad a la temperatura, a la humedad y a la oxidación; el propósito es incrementar su desempeño, así se podrían lograr diseños de pavimentos óptimos para carreteras a temperaturas variables, esta nueva técnica de modificar asfaltos pretende contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes, disminuir el fisuramiento y por fatiga aumentando su elasticidad. Deberá modificarse el asfalto para ser aplicado en casos especiales en que las propiedades del ligante tradicional sean insuficientes para cumplir con el éxito del funcionamiento es decir para pavimentos que están sometidos a sollicitaciones excesivas ya sea por el tránsito, temperaturas extremas, agentes atmosféricos, etc... [2]

El ligante asfáltico que se modificó con fibras naturales y sintéticas no hace que cambie sus propiedades, si no la determinación de sus características, así podrá ser concluyente en cuanto a su comportamiento debido a la calidad del material que son los que sugieren el buen desempeño de las carreteras. Con este estudio se sustenta el uso de las fibras en la ejecución de las vías mejorando la infraestructura vial.

1.2. MODIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CONCRETOS BITUMINOSOS POR LAS FIBRAS

Los agregados y las fibras son recubiertos con el asfalto, este actúa como ligante formando una red tridimensional de refuerzo mejorando las propiedades mecánicas, incrementando la resistencia a la abrasión, la vida útil del pavimento, y reduciendo las deformaciones plásticas.

Figura 1. Concreto bituminoso con fibra.



2. METODOLOGÍA

Características de los materiales para el desarrollo del estudio y ensayos no normalizados.

2.1. TIPO DE LIGANTE BITUMINOSO

Los asfaltos son constituidos por la fracción más pesada obtenida de la destilación al vacío del crudo reducido (fondos de la destilación atmosférica del petróleo). Normalmente son hidrocarburos pesados, solubles de color oscuro, y pueden ser líquidos o sólidos. [3]

El asfalto utilizado para la realización de la mezcla es un asfalto convencional clasificado según el grado de penetración en Asfalto 60/70.

Figura 2. Características del asfalto.

CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO	
PENETRACION 25°C, 5s, 100g(mm/10)	70
INDICE DE PENETRACION (IP)	-0.80
VISCOSIDAD ABSOLUTA @ 60°C (P)	1920
PUNTO DE ABLANDAMIENTO °C	48.2
DUCTILIDAD (25°C, 5 cm/min)	140.0
CONTENIDO DE AGUA (%)	
PUNTO DE IGNICIÓN (°c)	302
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO	100.%
TEMPERATURA DE MEZCLADO	147 - 154 °C
TEMPERATURA DE COMPACTACION	136 - 140 °C

Figura 3. Curva reologica del asfalto 60-70.

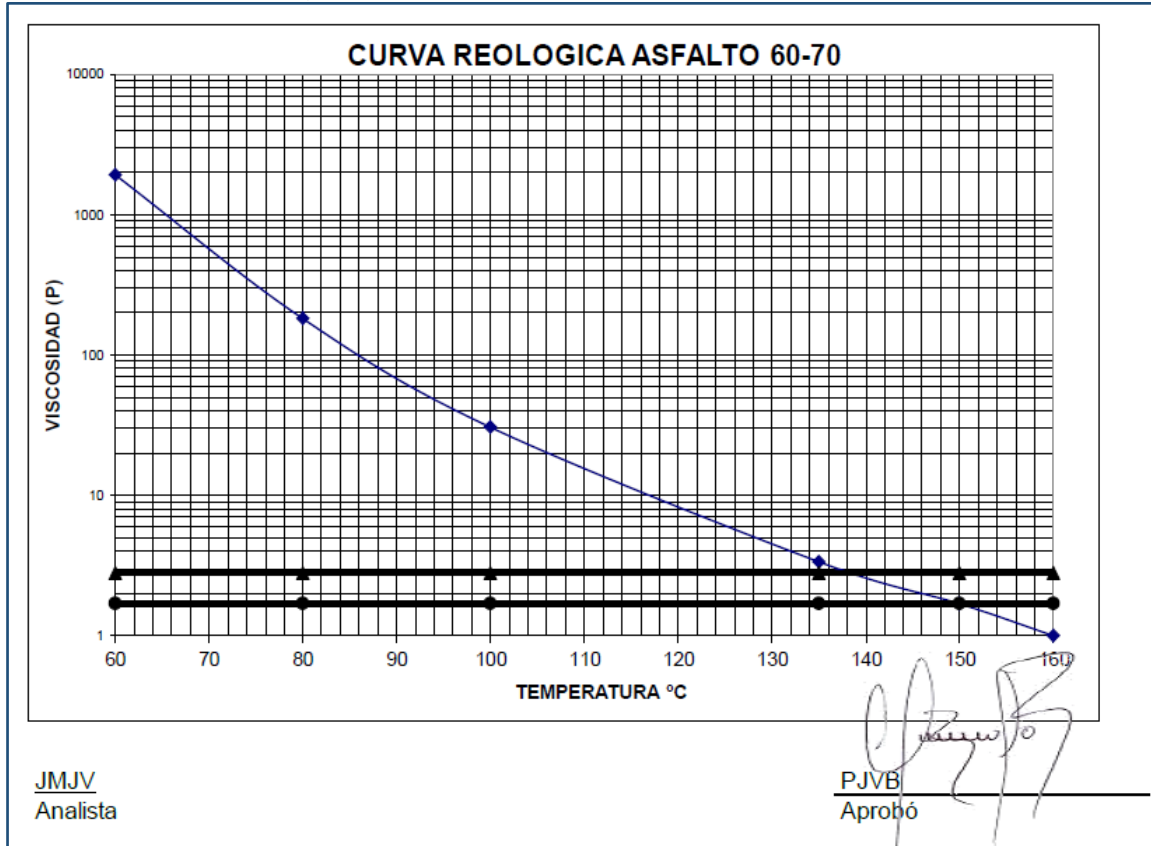


Figura 4. Viscosidad del asfalto 60-70.

TEMP	VISCOSIDAD		
60	1920	1.7	2.8 TM 148
80	181.46	1.7	2.8 TC 137
100	30.54	1.7	2.8
135	3.36	1.7	2.8
150	1.69	1.7	2.8
160	1	1.7	2.8

2.2. TIPOS DE FIBRAS

Las fibras son materiales que se constituye de numerosos filamentos, obteniéndose de procedimientos químicos o de origen natural, dependiendo del origen de cada fibra se pueden clasificar en fibras sintéticas y fibras naturales.

Figura 5. Tipos de fibras.



2.2.1. Sintéticas

Las fibras sintéticas son filamentos continuos de polímeros termoplásticos de alto peso molecular obtenidos por procesos de síntesis química a partir de productos producidos en la industria petroquímica. A diferencia de las regeneradas, estas fibras no se recuperan de un producto original, sino que se las fabrican de uno nuevo. Ambas constituyen el grupo de las fibras artificiales. [4]

- Fibra de vidrio.
- FlexaNylon Fiber.
- Fibra polipropileno.
- Nylon para pesca.
- Sikaplan.
- Acero galvanizado.

FIBRA DE VIDRIO: La fibra de vidrio, es un material que consiste en numerosos y extremadamente finas fibras de vidrio. La fibra de vidrio se utiliza comúnmente como material aislante. También se utiliza como agente de refuerzo para muchos productos poliméricos, para formar un material compuesto muy fuerte y ligero denominado plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV). La fibra de vidrio tiene propiedades comparables a los de otras fibras como las fibras de polímeros y de carbono. Aunque no es tan fuerte o tan rígida como la fibra de carbono, es mucho más barata y mucho menos frágil. [5]

FIBRA DE POLIPROPILENO: La fibra de Polipropileno tiene buena resistencia a la tracción. Se recomienda para usos deportivos como camping, sujeción accesorios náuticos y amarres variados en hogar.

Características

- Flota, baja densidad.
- Soporta muy bien la humedad, incluso el agua del mar.
- Buena resistencia a la tracción.
- Flexible.
- Resiste lejías, alcohol y algunos aceites.
- El polipropileno se hace frágil a temperaturas inferiores a 0° Celsius.
- Buena resistencia a los agentes químicos.
- Resiste soluciones acuosas de ácidos inorgánicos, ácidos orgánicos débiles. [6]

ACERO GALVANIZADO: Galvanizar es recubrir con zinc fundido la superficie del acero para protegerlo de la corrosión. El zinc es el recubrimiento metálico más utilizado por su capacidad de sacrificio para proteger el acero base. Existen dos métodos básicos para obtener el acero galvanizado: galvanización por inmersión en caliente (hot dip) y electrodeposición o galvanizado electrolítico. De allí se derivan toda una gama de productos que hacen del acero galvanizado un producto de múltiples posibilidades.

El proceso de galvanización en continuo se realiza en seis etapas principales:

- Entrada y soldadura.
- Limpieza y pre-tratamiento.
- Recocido.
- Galvanización.
- Acondicionamiento superficial y tratamiento químico. Presentación final y empaque. [7]

Figura 6.Fibra de Acero Galvanizado.



2.2.2. Naturales

Las fibras naturales son sustancias muy alargadas producidas por plantas y animales, que se pueden hilar para obtener hebras, hilos o cordelería. En tejidos, en géneros de punto, en esteras o unidas, forman telas esenciales para la sociedad. [8]

- Fibra de fique.
- Fibra de algodón.
- Hilo de seda.
- Hilo de bambú.

FIBRA DE ALGODÓN: El algodón es la planta textil de fibra más importante del mundo y su cultivo es de los más antiguos. En un principio la palabra algodón significaba tejido fino.

Distintas características hacen del algodón un producto único: sus fibras son blandas y aislantes, resisten la rotura por tracción. El algodón se convirtió desde hace mucho en un producto de importancia fundamental para el hombre.

El algodón, valga la redundancia, proviene del algodnero, planta del género *Gossypium*, perteneciente a la familia de las malváceas.

La transformación del algodón requiere la ejecución de una serie de operaciones como son el pizcado, en el cual se extienden los copos y se limpian de impurezas, el cardado, el peinado y el estirado, hasta la obtención de la fibra utilizada para la hilatura.

Con esta fibra se confeccionan gran variedad de tejidos, que difieren en cuanto a tamaño, peso y uso. Se emplea para elaborar gasas médicas para vendajes finos, para lonas, telas especiales para encuadernación, incluso, para fabricar paraguas y prendas impermeables.

Cada fibra está compuesta con 20 ó 30 capas de celulosa, enrolladas en una serie de resortes naturales. Cuando la cápsula de algodón (o cápsula de las semillas) se abre, las fibras se secan enredándose unas con otras, siendo entonces ideales para hacer hilo.

El algodón es un cultivo muy apreciado debido a que sólo el 10% de su peso se pierde en el proceso de producción. Su pulpa es ordenada de manera para proporcionar algodón propiedades únicas, de durabilidad, resistencia y absorción. Aunque es la fibra más común en la actualidad, fue la última fibra natural en alcanzar una importancia comercial. Aunque los antiguos griegos y romanos la

utilizaban para toldos, velas y prendas de vestir, en Europa su uso no se extendió hasta varios siglos después. [9]

FIBRA DE SEDA: La seda es el resultado de un sorprendente proceso de gestación, nacimiento, mudas y metamorfosis del gusano de seda, técnicamente llamado Bombyx Mori, único ser en la tierra capaz de producir los finos filamentos de la seda.

Producción del hilado artesanal

Se realiza con capullos enteros. Para deshilar el capullo, se sumerge en agua caliente a una temperatura de 80/100 °C para disolver y ablandar la Sericina (sustancia adhesiva de las hebras). Los hilos procedentes de 4/5 capullos se devanan conjuntamente para la obtención de la seda cruda. Tras un proceso de lavado se quita totalmente la Sericina y se obtiene la seda suave al tacto, flexible, blanca y brillante lista para pasar a la confección de los tejidos. La seda es una de las fibras textiles más perfecta, con ella se confeccionan prendas de extraordinaria calidad.

Es un producto natural que reúne características únicas de brillo, suavidad y textura que el hombre no ha podido igualar. Entre su larga lista de atributos figuran; la resistencia del hilo, su elasticidad, su consistencia, su duración y finura.

Propiedades físicas de la seda

El título de los filamentos individuales es de 1.3 dtex; la densidad es de 1.32 g/cm³; su tenacidad es de 27/54 cN/tex en seco y 23/45 cN/tex en húmedo; la elongación es del 18/24% en seco y del 25/30% en húmedo; se recupera el 90% después de alargarla el 2%; su resistencia a la abrasión es aceptable y el comportamiento al pilling es bueno. [10]

FIBRA DE BAMBÚ: EL bambú es un tipo de fibra de celulosa regenerada, obtenida de la pulpa de la caña de bambú, que posee un elevado valor ecológico puesto que proviene de cultivos con ciclos renovables cortos y sin dañar el patrimonio forestal. Esta pulpa se refina a través de un proceso de hidrólisis-alcalinización y blanqueado. Es biodegradable y por tanto cierra el ciclo natural.

Además, la fibra de bambú es un material textil biodegradable al 100% por microorganismos y por el sol. La descomposición no causa ninguna contaminación al medio ambiente y se puede afirmar que la fibra de bambú viene de la naturaleza y regresa al final a ella, por lo que la podemos elogiar como la nueva fibra textil natural, verde y ecológica.

La fibra de bambú es de alta durabilidad, estabilidad y tenacidad. Además su capacidad de resistencia a la fricción permite una correcta y fácil hilatura,

pudiendo hilarse sola o en mezclas con otras fibras como el algodón, yute, tencel, modal, entre otras; y es totalmente biodegradable.

A diferencia de algunas fibras que presentan funciones anti-microbianas, la fibra de bambú es natural y no requiere químicos, como las otras que sí reciben un tratamiento con químicos para lograr esa cualidad.

El bambú posee una amplia gama de aplicaciones, la cual va desde la alimentación y usos industriales hasta la vivienda y los usos en la agricultura, transporte, caza y música, lo que demuestra la gran importancia que puede llegar a tener esta especie, todavía poco conocida por los occidentales. Una hectárea de bambú produce 10 veces más fibra que la hectárea de algodón y necesita menos agua. [11]

2.3. ENSAYOS

Se hicieron pruebas de laboratorio con asfalto y fibras donde se determinó la adherencia entre los dos el cual permitió el uso de este material para el estudio.

2.3.1. Selección de fibras con base en prueba de adherencia

Se seleccionó diferentes tipos de fibras sintéticas y naturales para realizar las pruebas preliminares de selección para determinar el grado de adherencia por medio de la observación.

Incompatibilidad con la temperatura.

Las fibras previamente cortas a una longitud de 20 mm se mezclaron con el asfalto a una temperatura entre 140 a 150 °C. Luego de mezclar cada tipo de fibra, se descartaron las se fundieron por el cambio de su estructura.

Figura 7.Asfalto fundido con fibra.



Adhesión fibra asfalto.

La mezcla de asfalto-fibra se dejó a temperatura ambiente durante 48 horas, se retiró la fibra manualmente con la ayuda de una pinza se descartaron las fibras que se desprendieron con mínima fuerza.

Figura 8. Fibra desprendida.



Adhesión fibra asfalto en presencia de agua.

Las mezclas seleccionadas se sometieron a un proceso de inmersión en agua durante siete días. En esta fase se descartaron las fibras que presentaron susceptibilidad al daño por humedad. La prueba se realizó de tres maneras; primero las fibras que por sí solas se desprendieron, segundo por el retiro de la fibra manualmente con la ayuda de una pinza con una mínima fuerza, tercero por el cambio que se observó de sus propiedades, por ejemplo la fibra de acero galvanizado presentó oxidación.

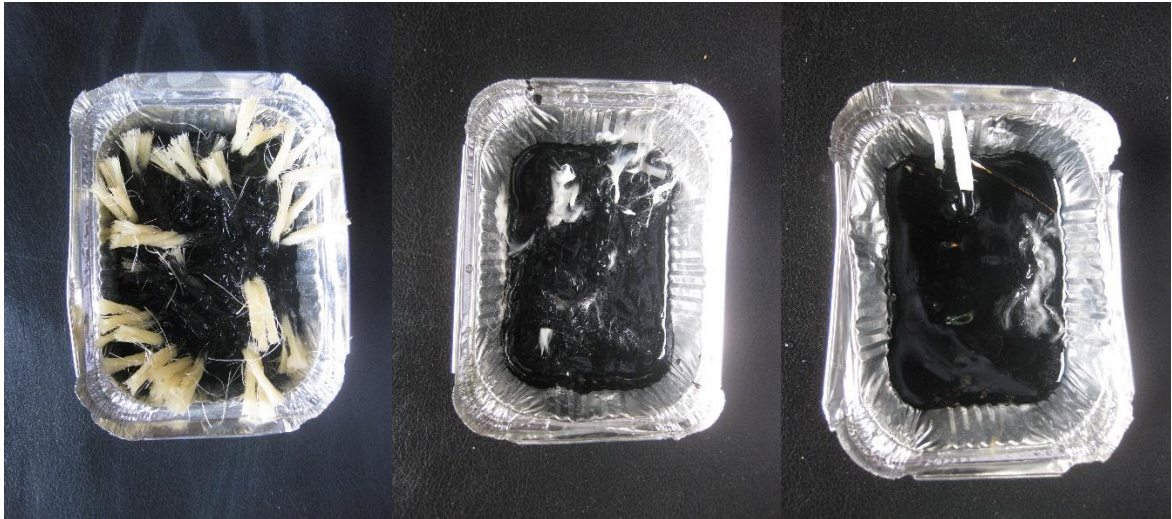
Figura 9. Fibra oxidada.



Disponibilidad de las fibras.

De las fibras seleccionadas se escogieron tres por sus propiedades mecánicas y su fácil accesibilidad en el mercado. Estas fibras modifican alguna o varias de las características del asfalto, con el objeto de mejorarlo funcionalmente.

Figura 10. Fibras seleccionadas.



2.3.2. Densidad de las fibras

Para la determinación de la densidad de las fibras seleccionadas se realizó utilizando el frasco de Le Chatelier que permitió medir el volumen correspondiente a una cierta masa de fibra, por medio del desplazamiento de un líquido que no

reacciona con él (generalmente agua), aprovechando el principio de Arquímedes. El cálculo de la densidad se realizó mediante la ecuación (1):

$$\text{Densidad (gr/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Masa de la fibra (gr)}}{\text{Volumen desplazado (ml)}} \quad (1)$$

Tabla 1. Características de las fibras.

Fibras	Espesor [mm]	Longitud [mm]	Densidad [gr/cm ³]
Fique	0.1	10	0.89
FlexaNylon	0.1	10	1.22
Sikaplan	1.5x1	10	1.5

2.3.3. Caracterización del asfalto-fibra

El contenido de fibra en las muestras de asfalto vario entre 1% y 5% en volumen.

Se fabricaron tres probetas por cada tipo de fibra seleccionada, las cuales tienen dimensiones de 1.5 cm de diámetro por 3 cm de altura.

La medida de rigidez se realizó por medio del ensayo Stabilized ejecutado en la maquina Metravib DMA+1000, en el cual se colocaron parámetros iniciales como frecuencias de 1, 5 y 10 Hz, desplazamiento dinámico de 0.0001 m, fuerza estática de 2 N, temperatura ambiente.

El procedimiento empleado para hallar la resistencia se realizó mediante el ensayo Tension Force de la maquina Metravib DMA+1000, colocando parámetros iniciales como velocidad de carga de 0.1 N/s, temperatura ambiente.

Figura 11. Probeta de asfalto.



3. RESULTADOS

La evaluación de la mezcla asfalto-fibra presentó un incremento en la rigidez y la resistencia.

3.1. SELECCIÓN DE FIBRAS

En la selección de fibras de acuerdo a la prueba de adherencia se escogieron tres fibras que mejor comportamiento presentaron.

Figura 12. Proceso de selección de las fibras.

Fibras	Incompatibilidad con la temperatura	Adhesión fibra asfalto	Adhesión fibra asfalto en presencia de agua	Disponibilidad de las fibras
Fibra de vidrio	✓	✓	X	X
FlexaNylon Fiber	✓	✓	✓	✓
Fibra polipropileno	✓	✓	✓	X
Soga trenzada de polipropileno	✓	✓	✓	X
Nylon para pesca	✓	✓	X	X
Sikaplan	✓	✓	✓	✓
Cable de acero galvanizado	✓	✓	X	X
Cuerda nylon marina	✓	✓	✓	X
Soga de fique	✓	✓	✓	✓
Pita de algodón	✓	✓	✓	X
Hilo de seda	✓	✓	✓	X
Hilo de bambú	✓	✓	✓	X

Las fibras seleccionadas para modificar el asfalto son:

- FlexaNylon Fiber.
- Sikaplan.
- Soga de fique.

Figura 13. Fibras (Fique, Sikaplan, FlexaNylon).



FIBRA DE FIQUE: El fique se obtiene de la planta de fique, cortando un determinado número de hojas, desprendiéndose de la parte carnosa de la hoja por medio del raspado, extrayendo de la planta la fibra natural, generalmente se utiliza en la fabricación de productos artesanales, hilos, tejidos, empaques, entre otros.

La fibra de fique sirve como refuerzo de materiales para construcción. El fique o cabuya es una fibra biodegradable que al descomponerse se emplea como alimento y abono; además, no contamina el agua y permite hacer producción limpia. Sus ventajas son tanto ambientales como de economía, facilidad y calidad. De la planta sólo se utiliza un 4% que es fibra; el otro 96%. Expertos colombianos han creado diferentes opciones para usar el fique, entre éstas la sustitución de las cuerdas de plástico que sostienen las plantas de plátano y otros cultivos, por cuerdas de fique pues este producto se degrada, es más económico y no se pierde tiempo al recogerlo.

La fibra, al ser biodegradable, se usa además como biomanto o manto natural para proteger sembrados y como agrotexil para reducir los daños por erosión en carreteras, vías, oleoductos y gasoductos.

Colombia produce cerca de treinta mil toneladas de fique al año, principalmente en los departamentos de Cauca, Nariño, Santander y Antioquía. En estos sitios los agricultores y campesinos se han asociado en agremiaciones de fiqueros e hilanderas, entre otros. [12]

Figura 14. Tabla de propiedades mecánicas de la fibra de fique. [13]

Tabla 1. Propiedades mecánicas de la fibra de fique			
<i>Propiedad</i>	<i>Promedio</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
Resistencia a la Tensión (MPa)	305,15	200,00	625,20
Módulo de Elasticidad (GPa)	7,52	5,50	25,50
Porcentaje de elongación a la fractura (%)	4,96	3,20	5,70

SIKAPLAN 15 PR: Son membranas a base de PVC plastificado, con una armadura de fibras sintéticas a base de poliéster, para el uso en el proyecto se usó material reciclado, fue necesario cortar los filamentos de 2 mm de ancho por 20mm de largo y es espesor es de 1.5mm.

Este tipo de láminas son resistentes a la acción de los rayos ultravioleta y a la intemperie, y no son resistentes a los productos bituminosos. Las membranas Sikaplan 15 PR cumplen con la norma UNE 104303, ASTM 1003, DIN 53370 y ASTM D 882.

Las membranas Sikaplan 15 PR proporcionan las siguientes ventajas:

- Elevada durabilidad.
- Estabilidad dimensional.
- Elevada resistencia a la tracción.
- Resistencia a la intemperie.
- Resistencia a los rayos ultravioleta.
- Elevada resistencia al vapor de agua.
- Excelente flexibilidad.
- Rapidez y facilidad de colocación. [14]

Figura 15. Características físicas, Fisico-químicas y Químicas de Sikaplan 15 PR.

Características físicas, Fisico-químicas y Químicas		
Ensayos	Requisitos	Resultado
Espesor nominal mínimo: - Según Norma DIN 16726	1500 Desviaciones: - 0,15 mm / + 0,20 mm	1519
Resistencia a la tensión: - Según Norma ASTM D 882	Longitudinal: 14 N/mm ² Transversal: 14 N/mm ²	21 N/mm ² 16 N/mm ²
Alargamiento a rotura: - Según Norma DIN	16726 >10 %	> 15 %
Resistencia de la soldadura - Según Norma DIN 16726	La rotura debe producirse fuera de la zona de soldadura	Conforme
Inmersión en agua: - Según Norma DIN 16726	Tras el tiempo de inmersión en agua, debe cumplir el ensayo de doblado a baja temperatura	Conforme
Resistencia a la percusión: - Según Norma DIN 16726	> 500 mm	A una altura de 750 mm, no perfora el material
Estabilidad dimensional: - Según Norma ASTM D 1204	Variación de masa después del ensayo 100°C 1.5% máx 15 minutos	Conforme
Resistencia a la perforación de raíces: - Según método de ensayo FLL	Sin perforaciones	Conforme
Coefficiente de transmisión al vapor de agua: - Según Norma DIN 16726	u < 30.000	20.000
Adherencia entre capas - Según norma ASTM D 882	> 40N	50
Peso ASTM E 252		1840 ± 129 gr/m ²

FLEXANYLON: Son monofilamentos de Nylon Caprolan que puede transformar el comportamiento del asfalto. En el concreto aumenta la resistencia mecánica a compresión. Actúa como refuerzo multidimensional, tiene la propiedad de ser flexible y enlongarse hasta en un 20%, baja la permeabilidad considerablemente, alta resistencia a los rayos UV. Es una fibra hidrofílica sometida a un proceso de saturación por lo cual pesa más que el agua.

El Nylon LC ha sido sometido a los ensayos basados en la norma ASTM necesarios para que sea aprobado su uso en la construcción. La fibra ayuda a distribuir la carga, el efecto de la contracción plástica proporciona una reducción en la formación de grietas de la mínima requerida por especificación. El valor agregado del uso de esta fibra puede estar en un aumento de la durabilidad además la mezcla asfáltica será menos permeable. Esto se traduce en una mejor resistencia tanto en clima frío como en cálidos. Esto también se traduce en una mejoría de la resistencia a la fatiga. [15]

3.2. MEZCLAS EVALUADAS

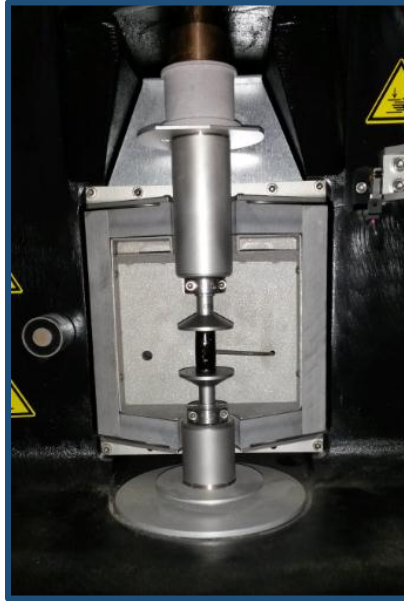
Las diferentes mezclas se evaluaron de modo que el tipo de fibra para cada determinado porcentaje se compara con el asfalto.

El cálculo de la cantidad de fibra se determinó con respecto al volumen de asfalto de 5.30 ml.

Tabla 2. Cantidad de las fibras.

Fibras	Porcentaje	Masa [gr]
Fique	1%	0.05
	3%	0.14
	5%	0.24
FlexaNylon Fiber	1%	0.06
	3%	0.2
	5%	0.32
Sikaplan	1%	0.08
	3%	0.24
	5%	0.4

Figura 16. Ensayos de tracción.



3.3. MODIFICACIONES EN EL COMPORTAMIENTO

Análisis comparativo de la resistencia y la rigidez del ligante asfáltico de índice de penetración 60/70 con las mezclas del ligante con los diferentes porcentajes de fibras.

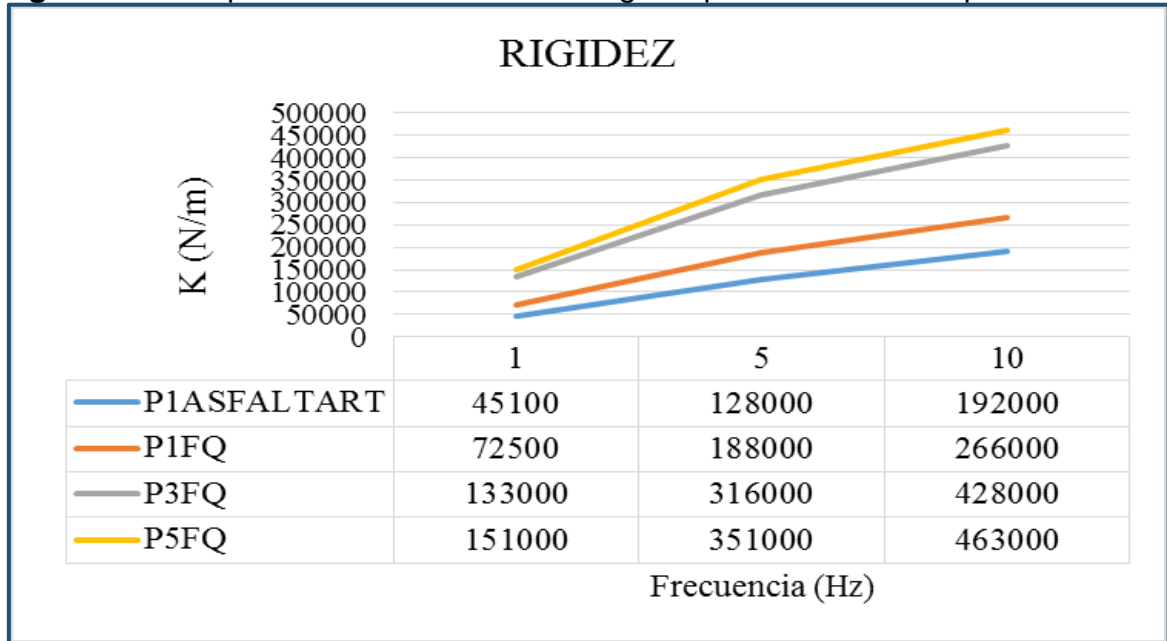
Tabla 3. Probetas y porcentajes de fibra.

NOMENCLATURA	PORCENTAJE	FIBRAS
P1ASFALTART	0%	NO
P1FQ	1%	FIQUE
P3FQ	3%	FIQUE
P5FQ	5%	FIQUE
P1SK	1%	SIKAPLAN
P3SK	3%	SIKAPLAN
P5SK	5%	SIKAPLAN
P1FF	1%	FLEXANYLON
P3FF	3%	FLEXANYLON
P5FF	5%	FLEXANYLON

De acuerdo con la fibra, la mezcla ligante-fibra de fibra de Fique y fibra de FlexaNylon se puede clasificar como fibras que ayudan al ligante a tener un mejor comportamiento, mientras que la fibra de Sikaplan no se ve ninguna mejoría de comportamiento en cuanto a la rigidez de la mezcla.

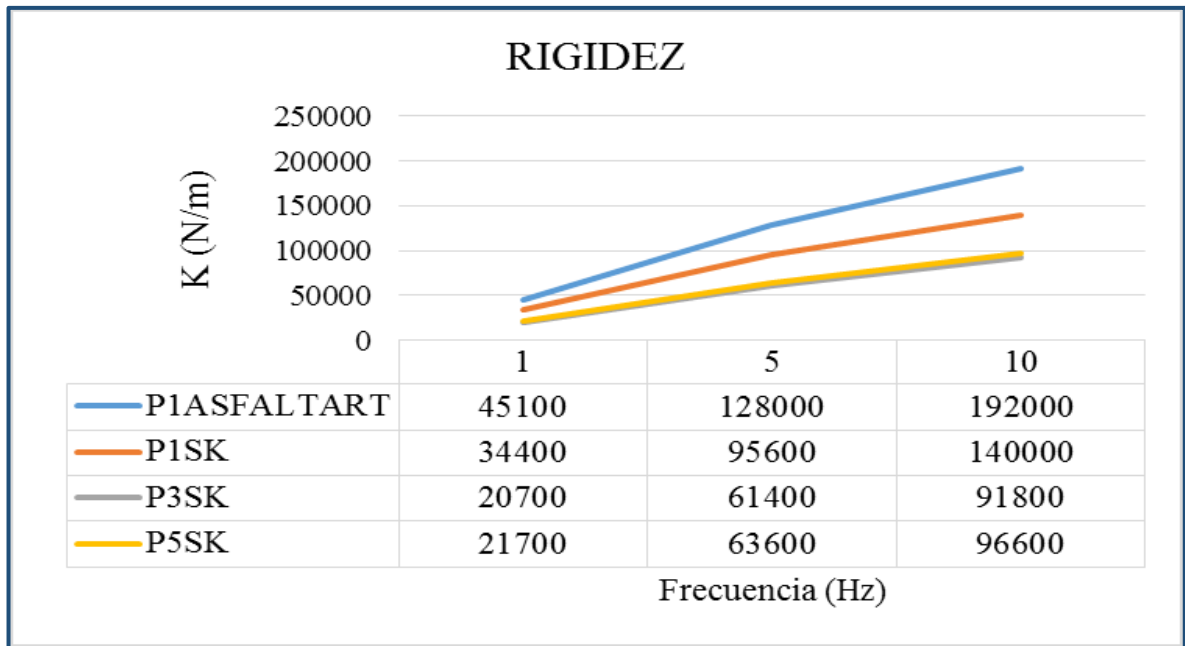
En la Figura 17 se observa una mejoría de la rigidez con respecto al ligante sin fibra, teniéndose para el 1% de fibra un alza de rigidez de más o menos en un 48%, para el 3% de fibra la rigidez aumento en un 154%, y para el 5% de fibra la rigidez aumento en un 183%.

Figura 17. Comparación de las curvas de rigidez para la fibra de Fique.



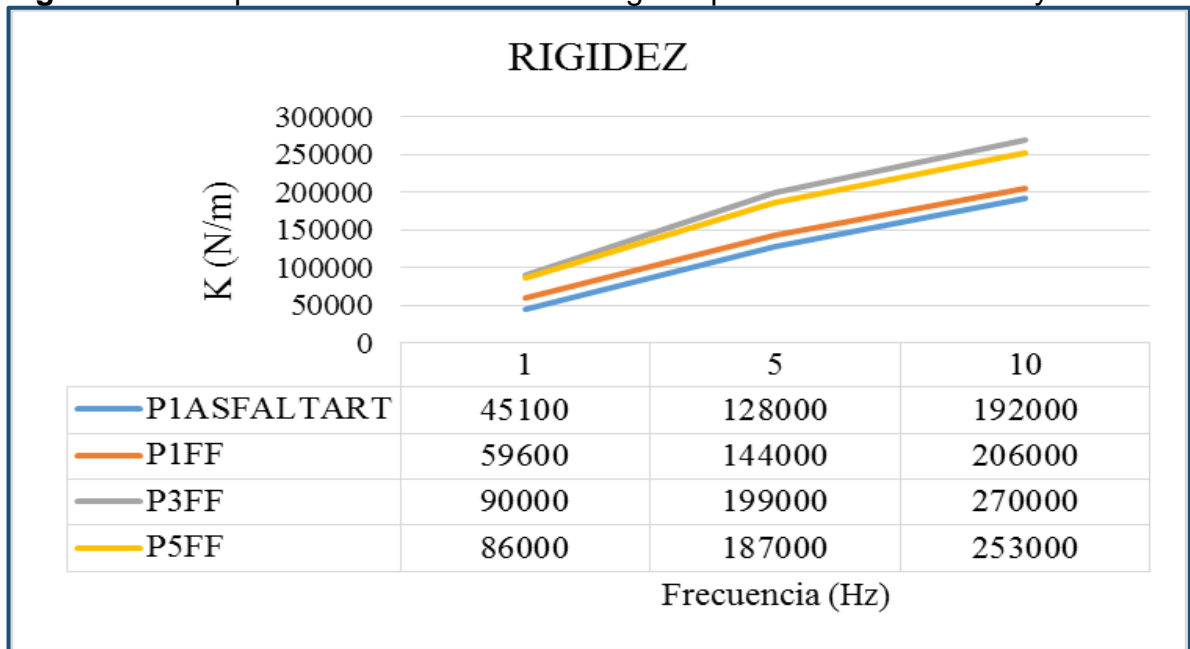
La rigidez para la mezcla ligante-fibra de Sikaplan no se obtuvo mejoría, al contrario disminuye esta propiedad como se muestra en la Figura 18.

Figura 18. Comparación de las curvas de rigidez para la fibra de Sikaplan.



En la mezcla ligante-fibra de Flexanylon, se muestra en la Figura 19 un mejor comportamiento de la rigidez en cuando al ligante sin fibra, para el 1% de fibra aumento en un 17%, para el 3% de fibra aumento en un 65% y finalmente para el 5% de fibra aumento en un 56%.

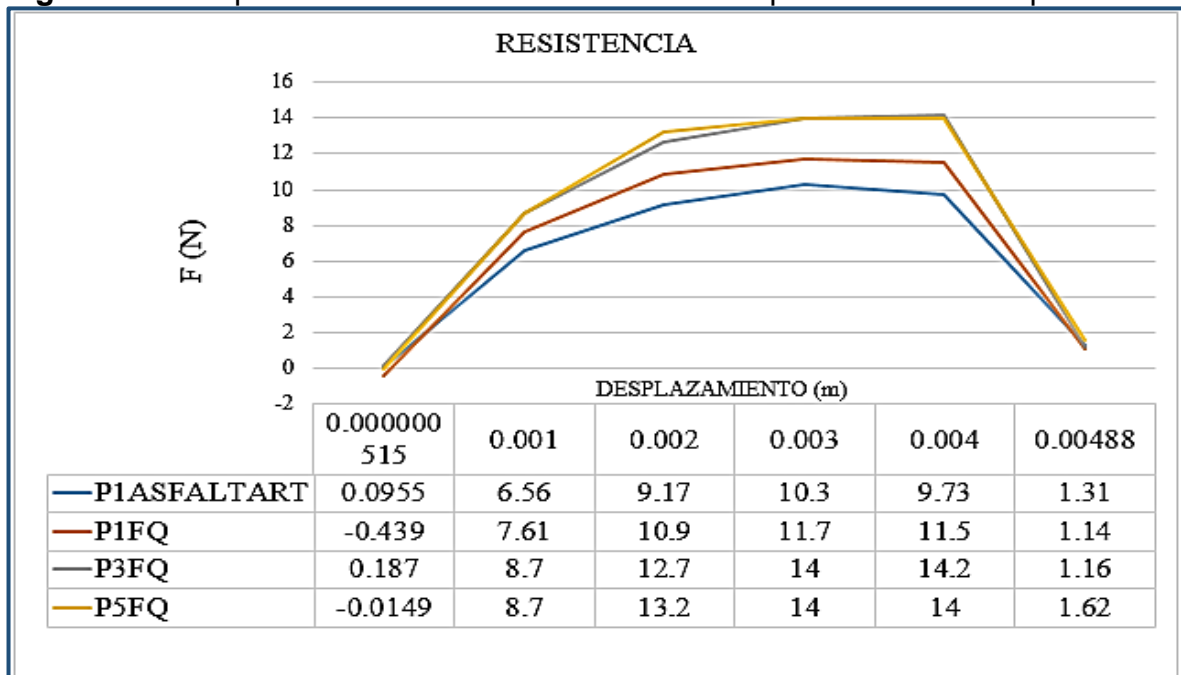
Figura 19. Comparación de las curvas de rigidez para la fibra de FlexaNylon.



La resistencia tiene un mejor comportamiento para la fibra de Fique y la fibra de FlexaNylon, notándose para la fibra de Sikaplan un decaimiento en cuanto a los porcentajes del 3% y 5%.

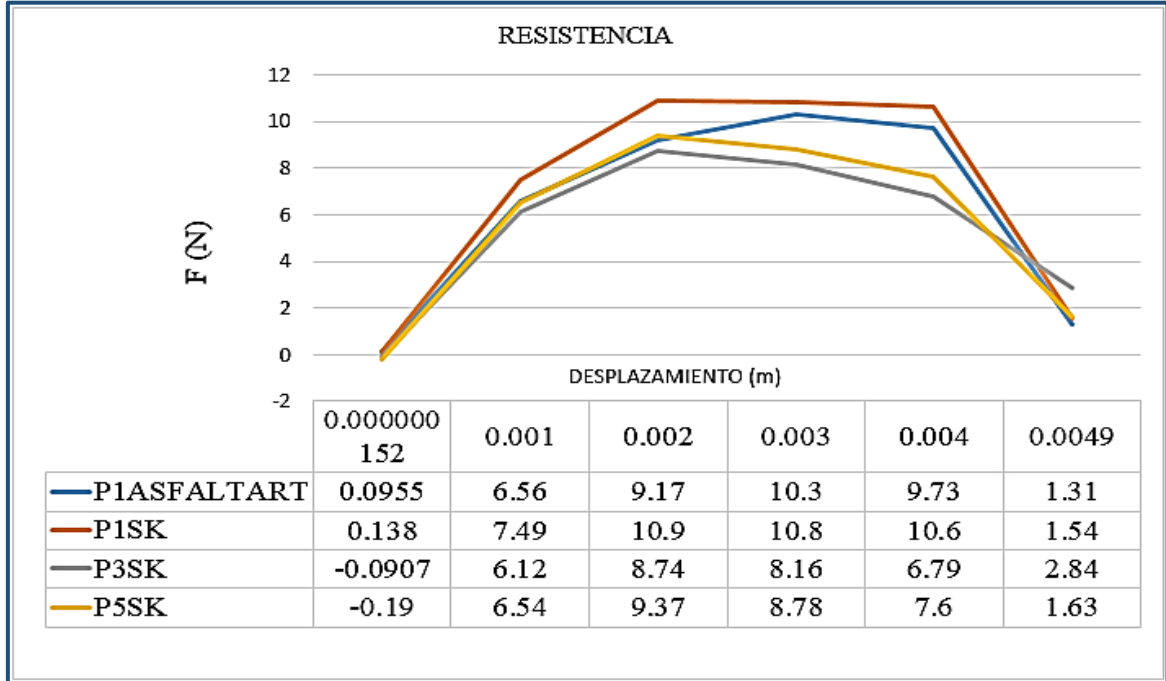
La Figura 20 muestra una mejoría de la resistencia en cuanto a un desplazamiento de 1 mm con respecto al ligante sin fibra, observando para el 1% de fibra un aumento de fuerza en un 16%, para el 3% de fibra un aumento de fuerza en un 33% y para 5% el mismo porcentaje de fuerza del 3% de fibra.

Figura 20. Comparación de las curvas de resistencia para la fibra de Fique.



La resistencia en cuanto a un desplazamiento de 1 mm con respecto al ligante sin fibra, se muestra en la Figura 21 para la mezcla ligante-fibra de Sikaplan solo de mejora al 1% de fibra aumentando la fuerza en un 14%, con respecto a los porcentaje de fibra de 3% y 5% se observó un decaimiento de esta propiedad.

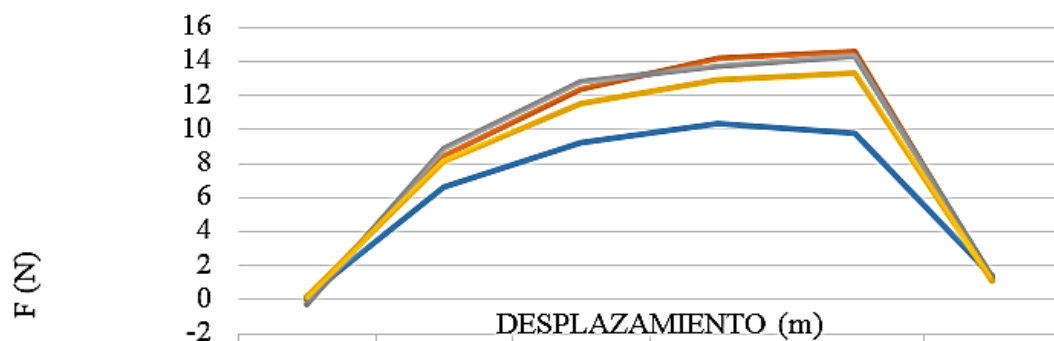
Figura 21. Comparación de las curvas de resistencia para la fibra de Sikaplan.



En la Figura 22 se observa un mejor comportamiento del ligante-fibra con respecto al ligante sin fibra. La resistencia mejoro en cuanto a un desplazamiento de 1 mm, para el 1% de fibra un aumento de fuerza en un 28%, para el 3% de fibra un aumento de fuerza en un 35% y para 5% de fibra un aumento de fuerza en un 24%.

Figura 22. Comparación de las curvas de resistencia para la fibra de FlexaNylon.

RESISTENCIA



	-	0.001	0.002	0.003	0.004	0.00496
	0.000000 169					
— P1ASFALTART	0.0955	6.56	9.17	10.3	9.73	1.31
— P1FF	-0.0829	8.37	12.3	14.1	14.5	1.07
— P3FF	-0.335	8.85	12.8	13.7	14.3	1.28
— P5FF	0.15	8.11	11.5	12.9	13.3	1.08

4. CONCLUSIONES

Con la presente investigación se logró estudiar las propiedades mecánicas del material, asfalto 60/70 de Parámetro que guío el estudio del mismo con la adición de fibras naturales y sintéticas.

Se evaluaron los cambios físicos visibles del material después de una estabilización de dos días al ambiente y siete días más sometidos a una inmersión agua, los cuales determinaron la selección de tres tipos de fibras (Fique, Sikaplan y FlexaNylon Fiber).

Los porcentajes 1%, 3% y 5% presentaron el mejor comportamiento mecánico.

Con la máquina METRAVIB DMA+1000 se hicieron las pruebas para determinar la rigidez y la resistencia, comparando los resultados del asfalto 60/70 con el modificado, los cuales comprueban que la adición de fibras a ligantes asfálticos mejora sus propiedades mecánicas. El porcentaje óptimo para ser adicionado al ligante es el 5% para la fibra de fique y 3% para la de FlexaNylon, pero para el material reciclado cortado en filamentos Sikaplan fue del 1%. Se recomienda hacer ensayos de fatiga a diferentes temperaturas con estos porcentajes para examinar más a fondo su comportamiento mecánico. Se recomienda hacer ensayos de las diferentes mezclas asfálticas sin y con las fibras usando la maquina Cooper Gyrotory compaction.

Se recomienda hacer pruebas con el ligante y fibras naturales como la fibra de algodón,
bambú y seda.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Valor Hernandez, F., & Mira Fernandes, E. (s.f.). Influência do uso de fibras de poliéster no fabrico de misturas betuminosas. Portugal.
- [2] (s.f.). Pavimentación y repavimentación con geosintéticos. En G. Pavco, Manual y Software (págs. 163-188).
- [3] Asfaltos. [Documento electrónico]. Disponible en Internet: <<http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=222&conID=37385>>
- [4] Fibras Sintéticas. [Documento electrónico]. Disponible en Internet: <<http://www.redtextilargentina.com.ar/index.php/fibras/f-diseno/fibras-sinteticas>>
- [5] Tecnología de los plásticos. Internet: (<<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/fibra-de-vidrio.html>>) (publicado martes, 6 de diciembre de 2011).
- [6] PLASTICORD, Santiago De Chile. Internet: (<http://www.plasticord.cl/vis_productos.asp?idpro=120>). (Publicado, Viernes 7 de Noviembre 2014).
- [7] ACESCO. ACERÍAS DE COLOMBIA S.A. “Manual técnico del acero galvanizado”, [Documento electrónico]. <http://www.acesco.com/downloads/manual/M-Galvanizado.pdf> Colombia, Enero. 2000 (Citado 9 de noviembre 2014).
- [8] Fibras naturales. [Documento electrónico]. Disponible en Internet: <<http://www.naturalfibres2009.org/es/fibras/>>
- [9] DE ANTUÑANO, Circuito Esteban. PECALtex hilos de calidad #22 fuente original. [Documento electrónico]. http://pecaltex.com.mx/Pecaltex/Sobre_el_Algodon.html México Huejotzingo, Pue 74160. (Citado el 9 de noviembre del 2014)
- [10] GACEN GUILLEN, Joaquin – Universidad Politécnica de Catalunya. LA PASTORA S.A. Fibra De Seda. [Documento electrónico]. <http://www.lapastora.com.ar/g9.html> Fuente Asociación Sericícola de la República Argentina, 2012 (Citado el 27 de noviembre de 2012)

[11] Desarrolla tu Producto “BAMBÚ”. [Documento electrónico] <http://www.desarrollatuproducto.com/directorio/proveedores/materiales/textiles.html?catid=707>. Copyright © 2014 [Desarrollatuproducto.com](http://www.desarrollatuproducto.com). Todos los derechos reservados. B9 Network (Citado el 9 noviembre 2014).

[12] ÁLVAREZ, Carlos Alberto. AUPEC fuente original. Ciencia al día, “LOS MIL USOS DEL FIQUE”. [Documento electrónico]. <http://aupec.univalle.edu.co/informes/mayo97/boletin37/fique.html> Colombia. (Citado el 9 de noviembre del 2014)

[13] Contreras, M. F., Hormaza, W., & Marañón, A. (2009). Fractografía de la fibra natural extraída del fique y de un material compuesto reforzado con tejido de fibra de fique y matriz resina poliéster. Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, 55-67.

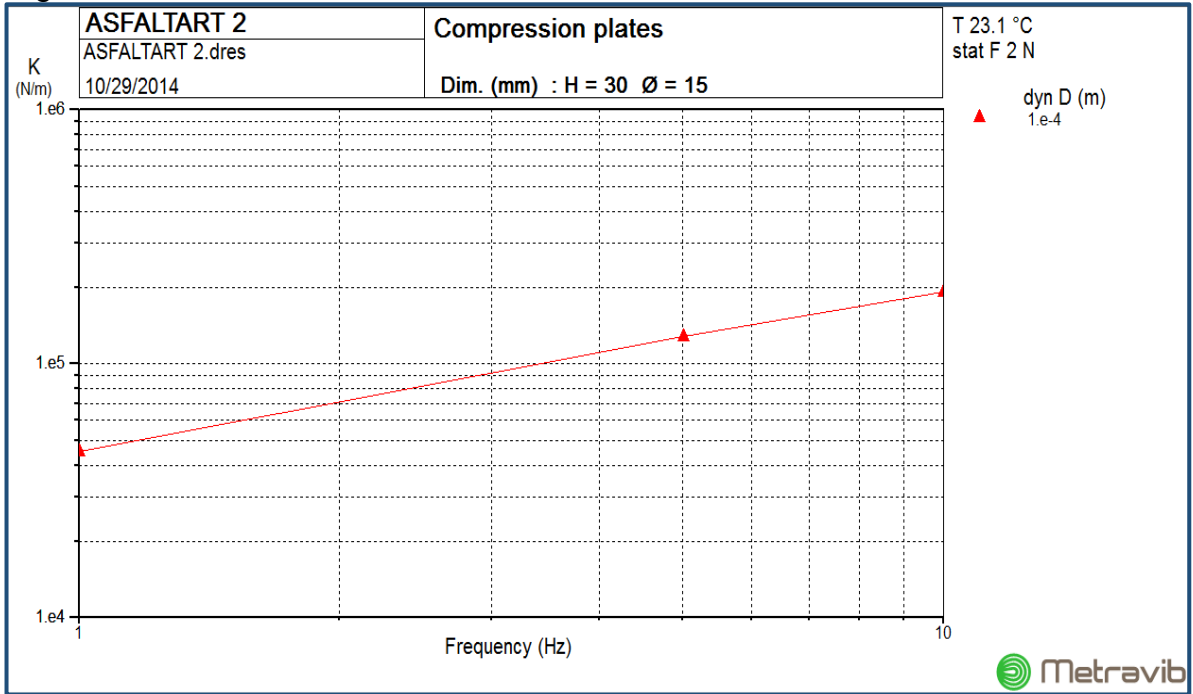
[14] GSA INGENIERÍA. Internet: (<<http://www.gsaingenieria.com/productos/56-impermeabilizacion-sika/312-sikaplanr15-pr>> Sikaplan 15 pr.pdf.). (Versión 01/2010).

[15] FLEXA DE COLOMBIA. Internet: (<<http://www.youtube.com/watch?v=gb5rWsJ4b0w>>). (Publicado el 04/06/2013)

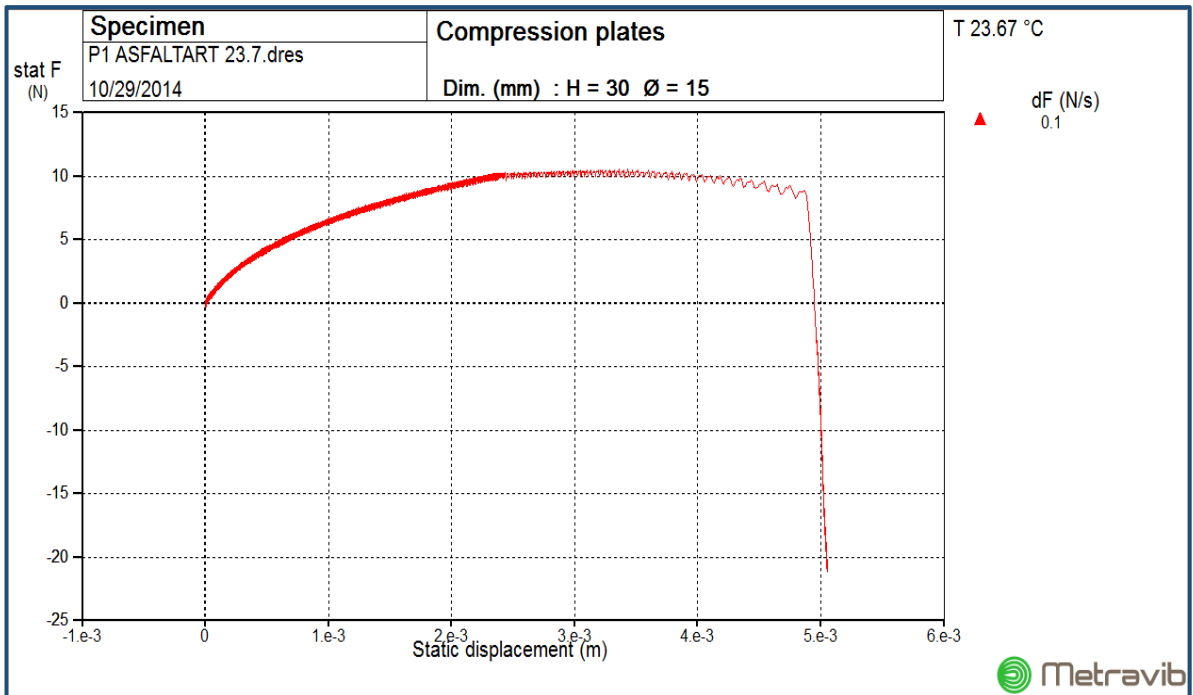
ANEXOS.

ANEXO A. GRAFICAS P1ASFALTART

Rigidez



Resistencia

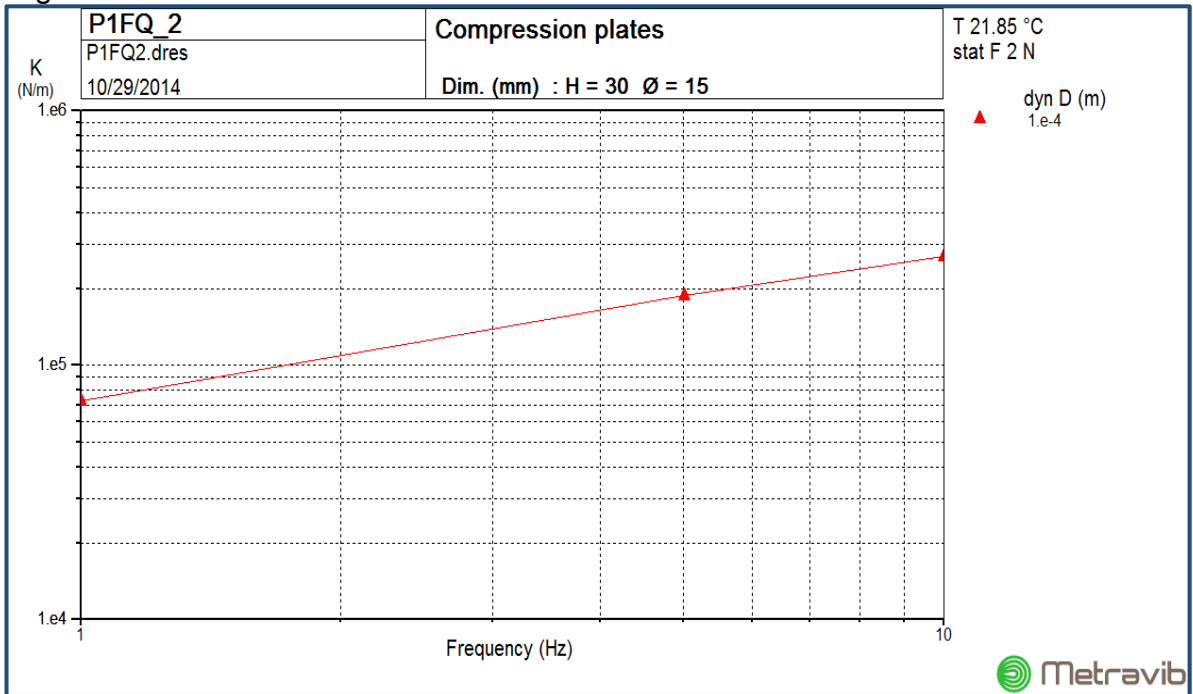


Metravib

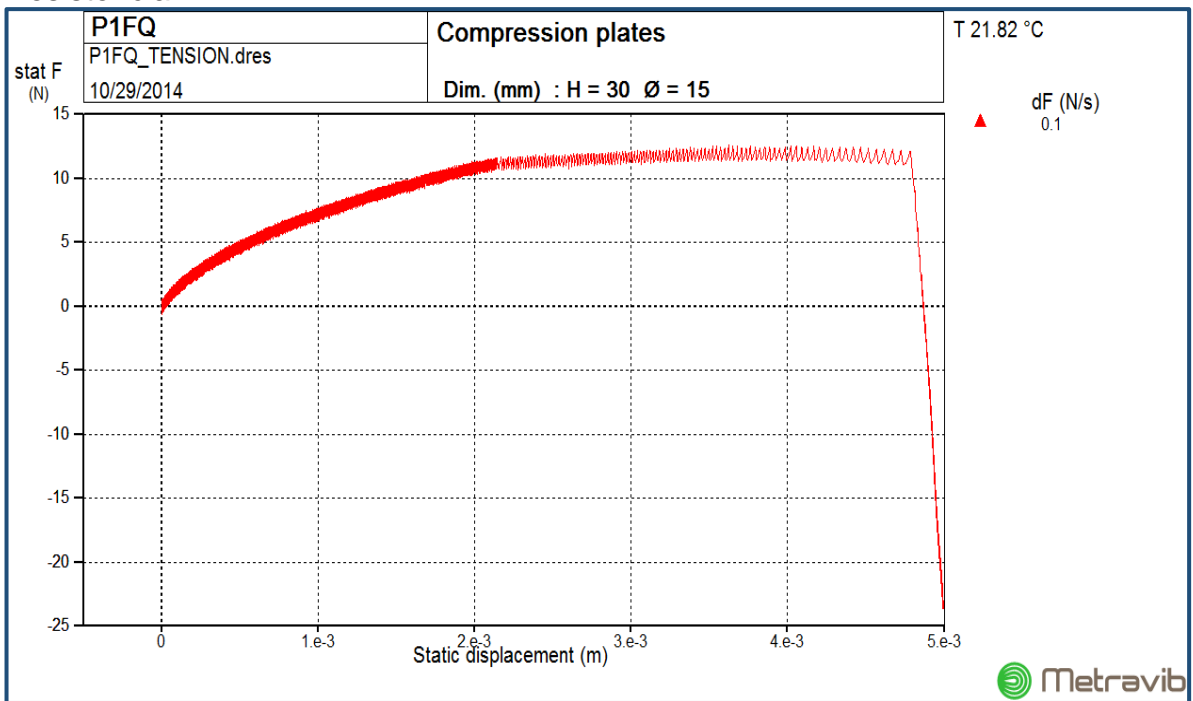
DMA+1000

ANEXO B. GRAFICAS P1FQ

Rigidez

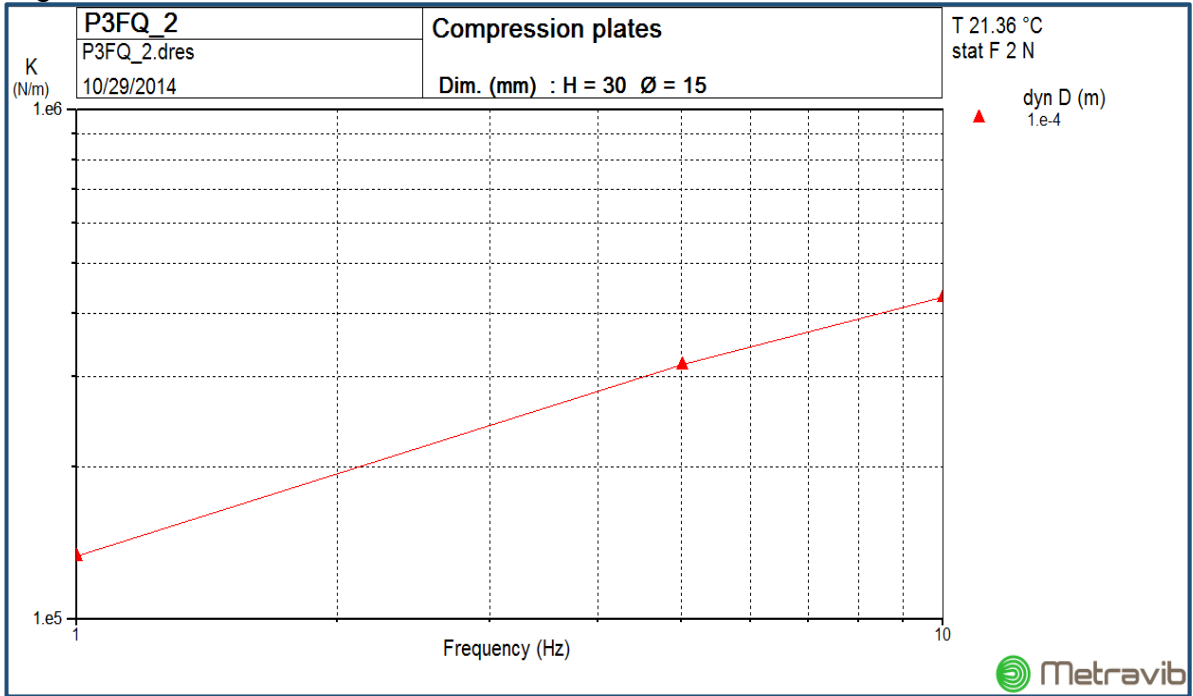


Resistencia

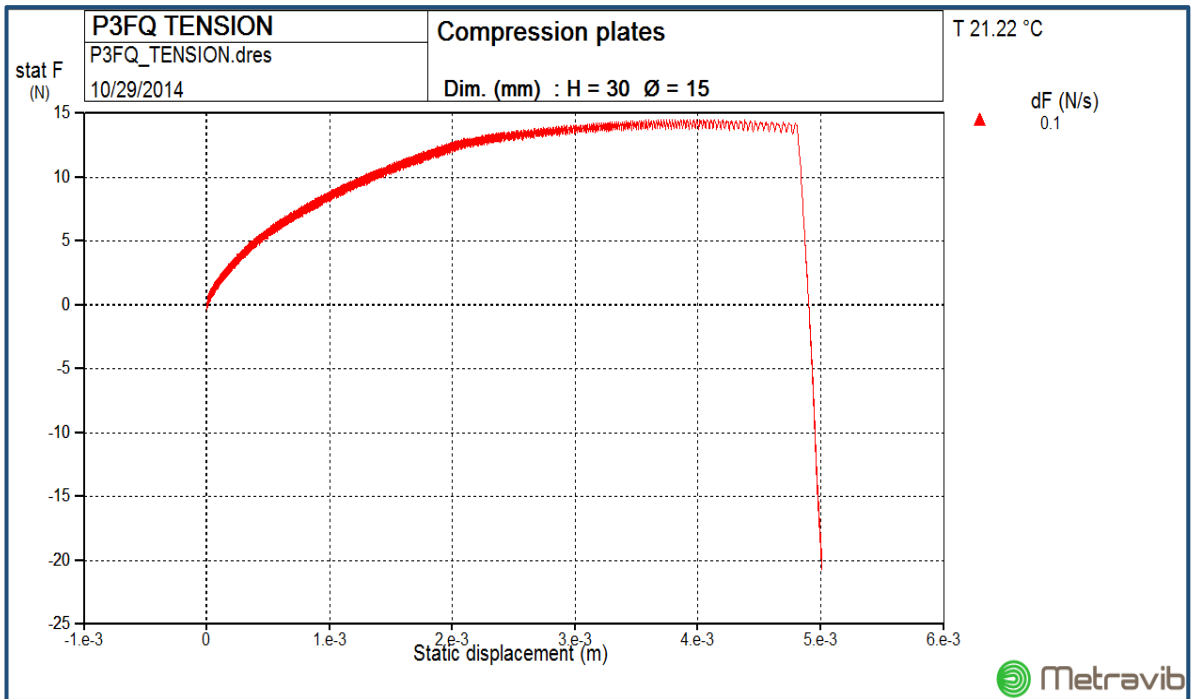


ANEXO C. GRAFICAS P3FQ

Rigidez

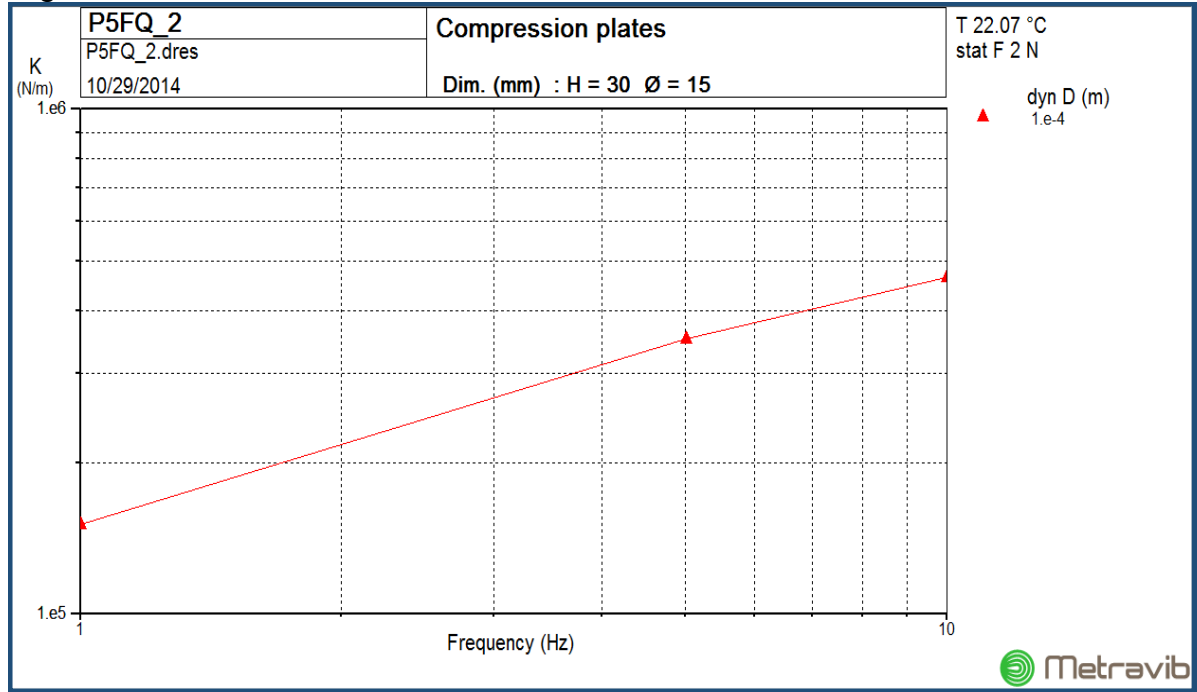


Resistencia

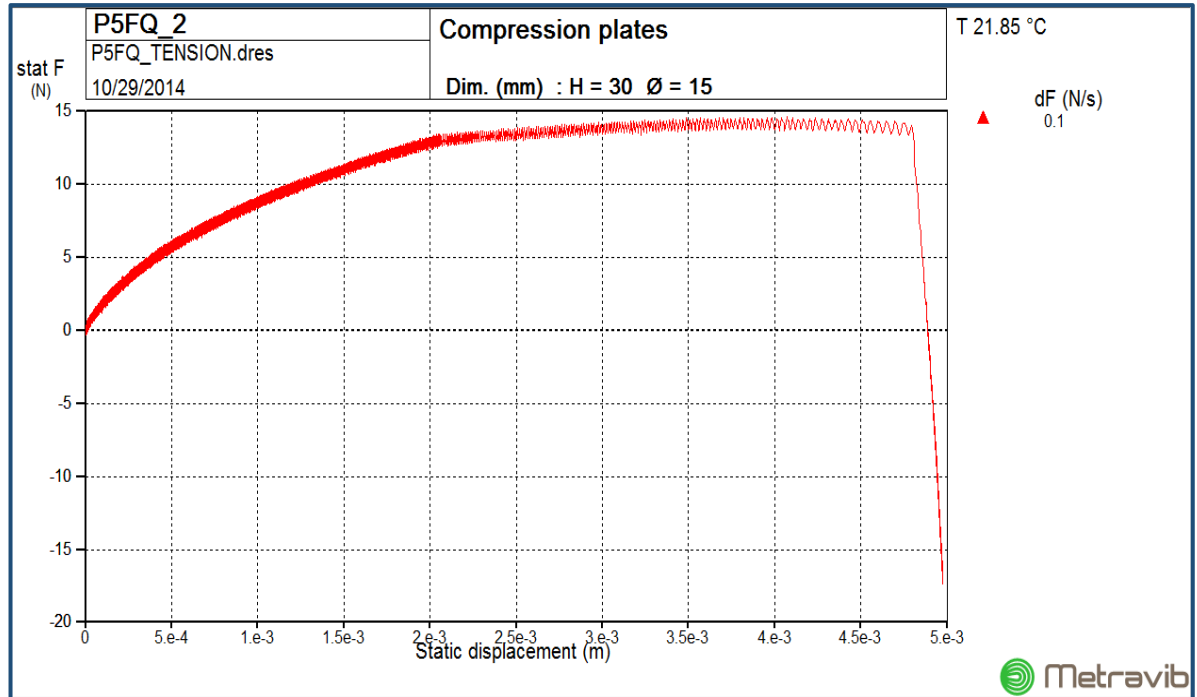


ANEXO D. GRAFICAS P5FQ

Rigidez

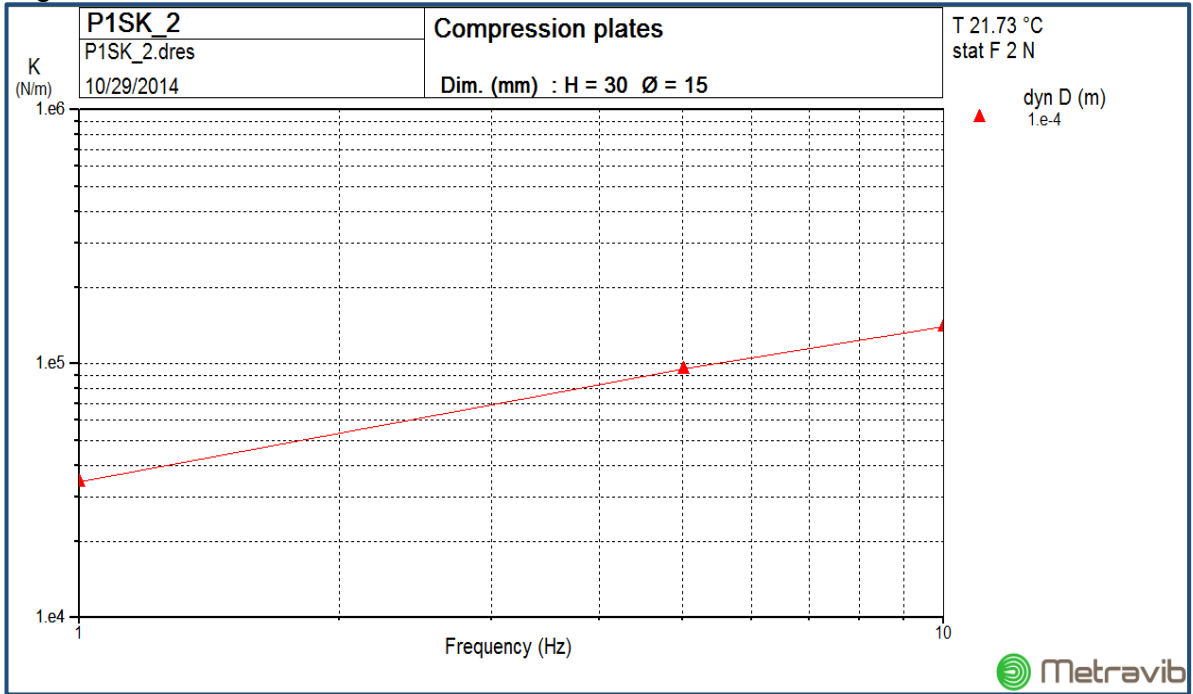


Resistencia

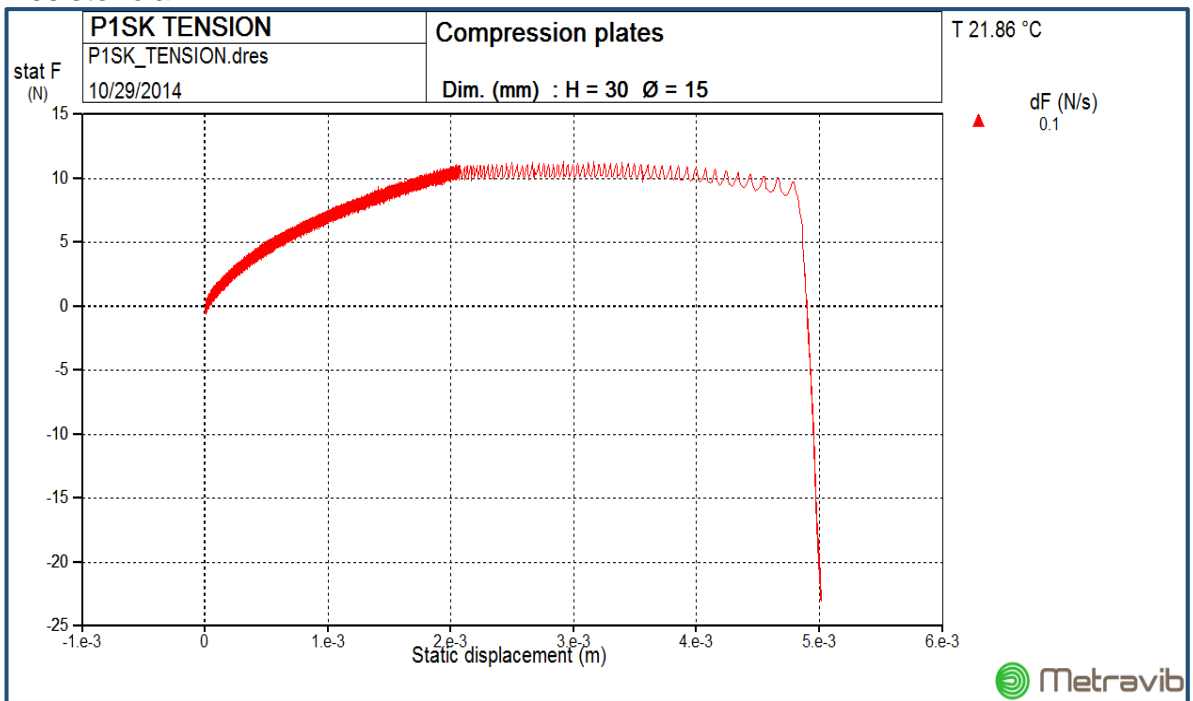


ANEXO E. GRAFICAS P1SK

Rigidez

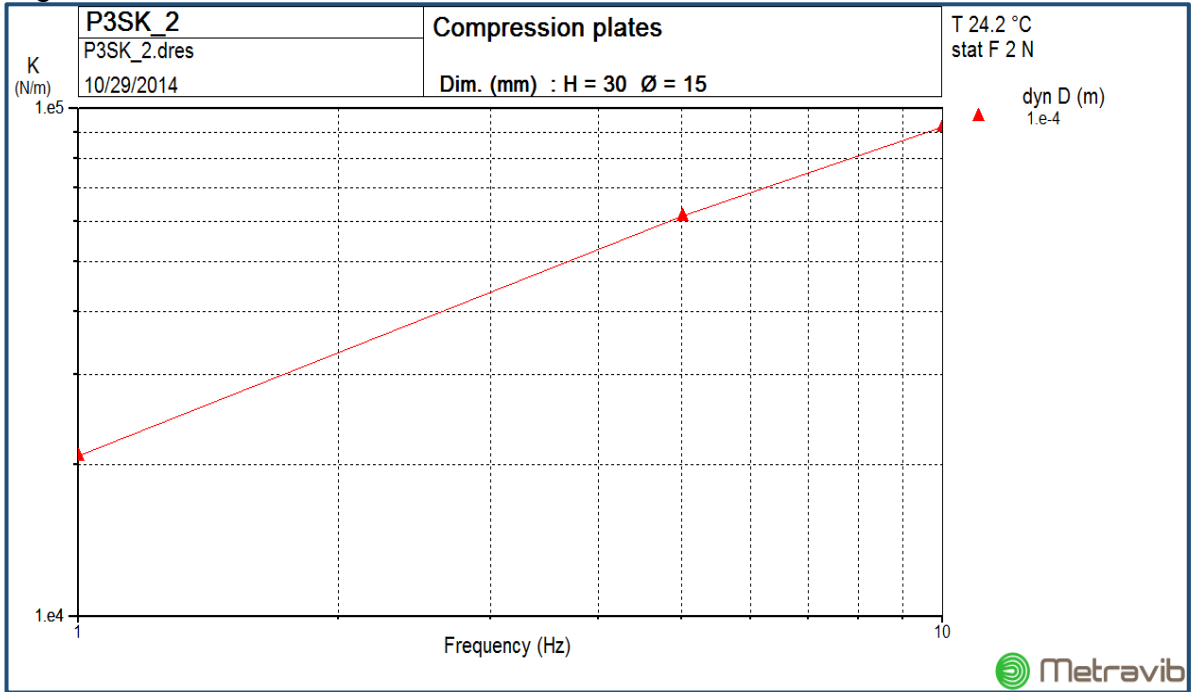


Resistencia

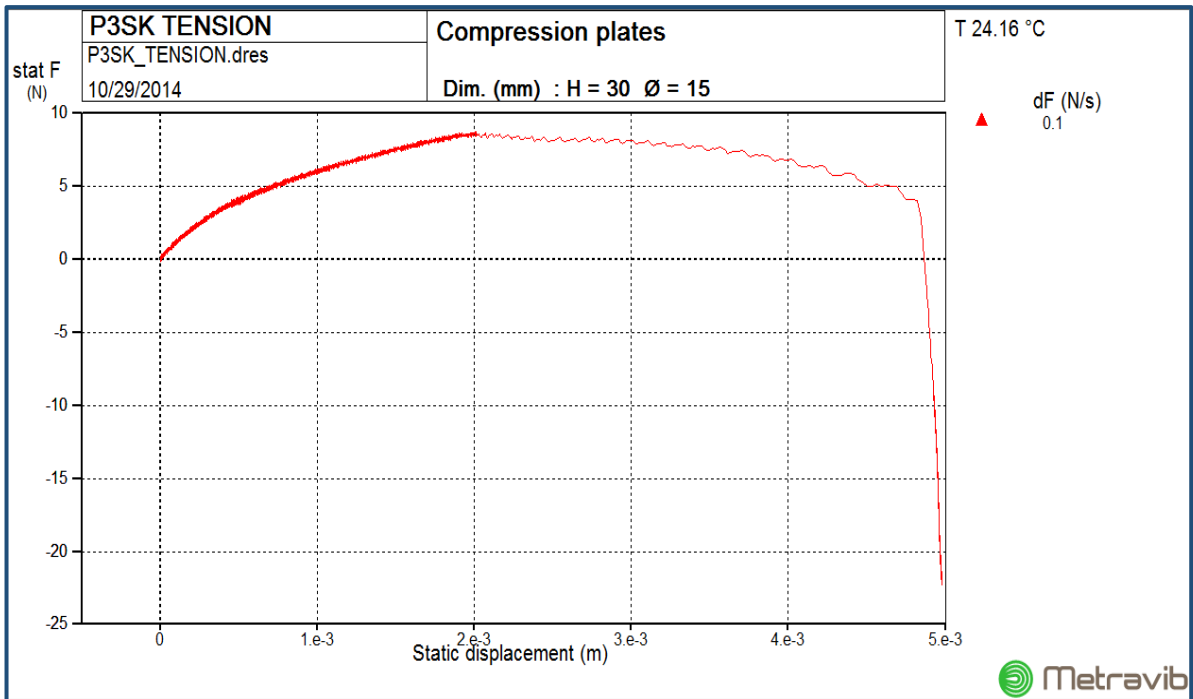


ANEXO F. GRAFICAS P3SK

Rigidez

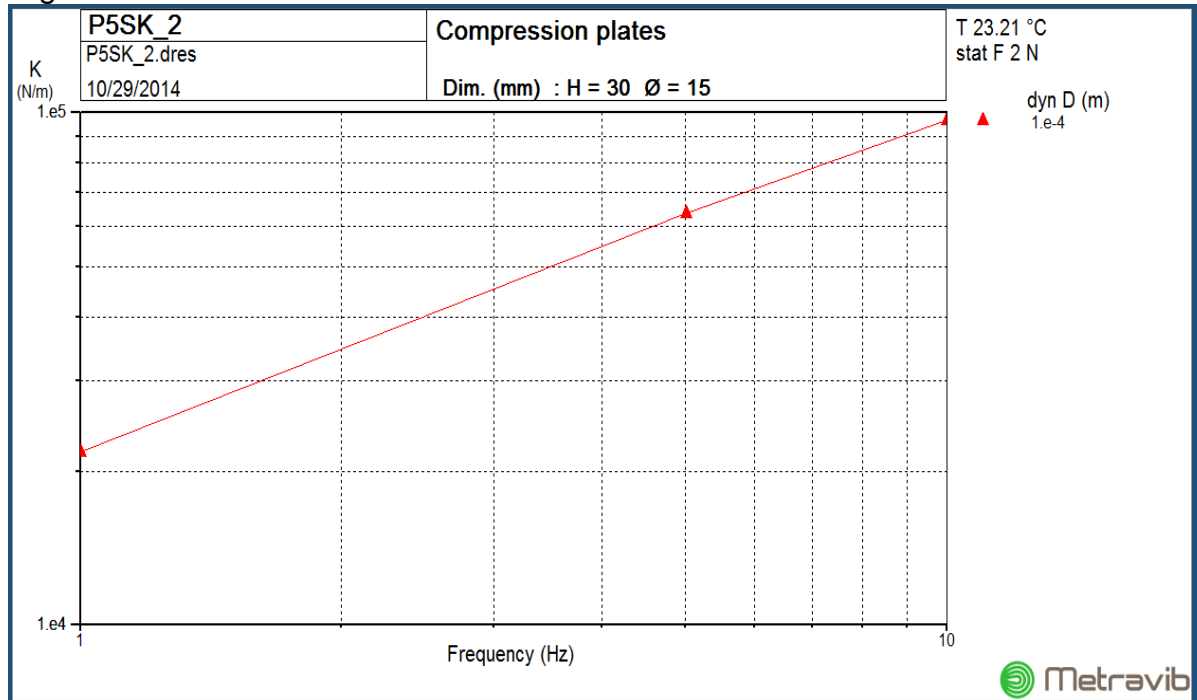


Resistencia

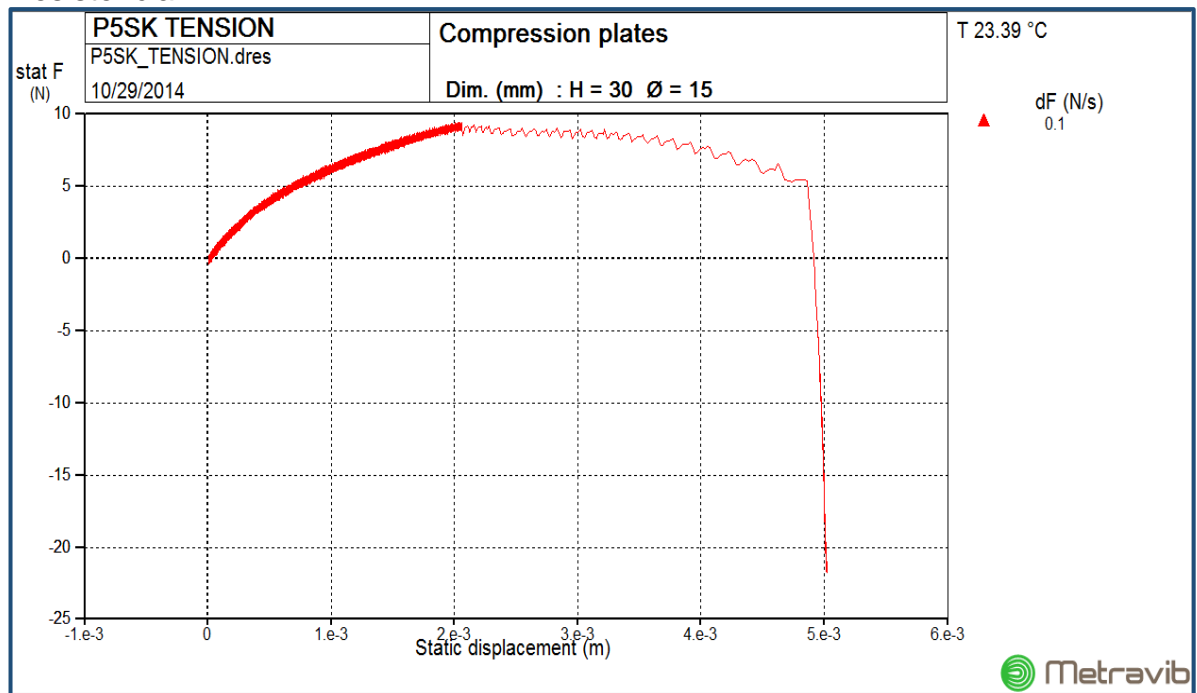


ANEXO G. GRAFICAS P5SK

Rigidez

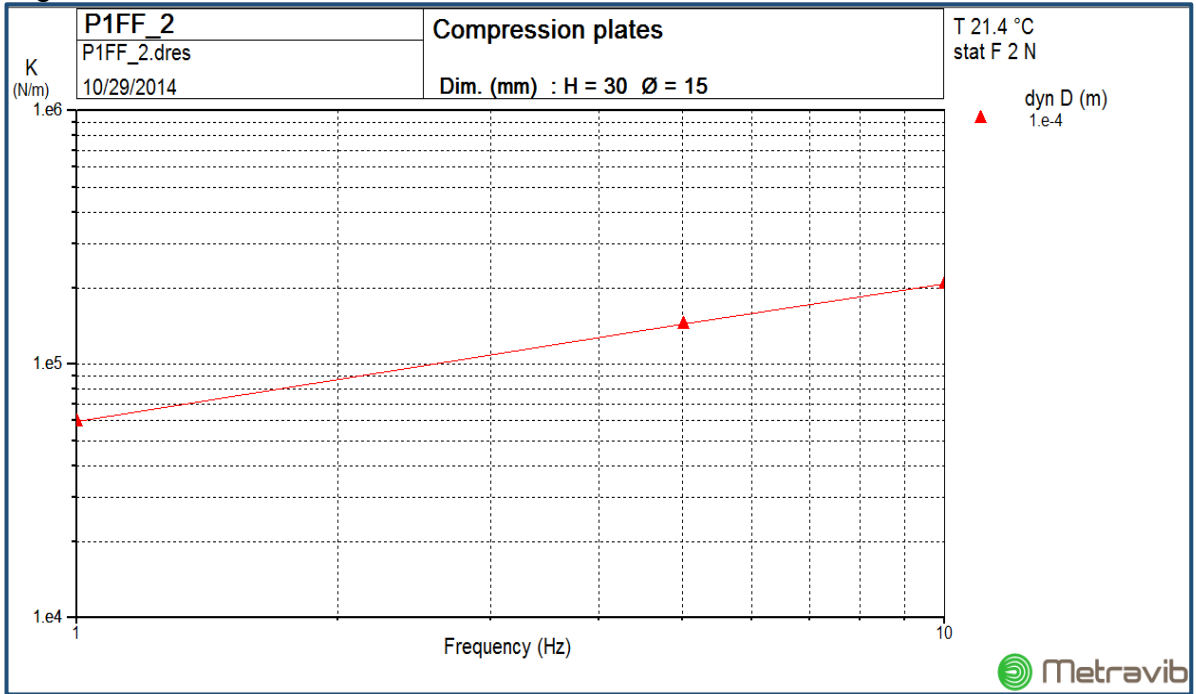


Resistencia

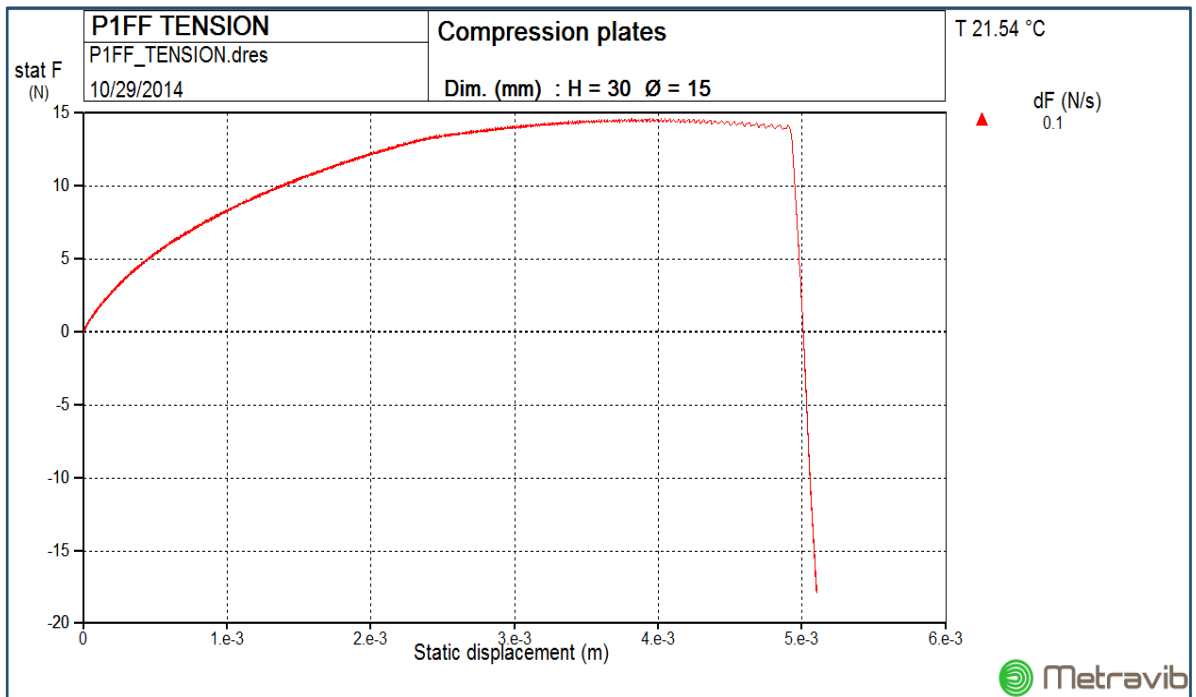


ANEXO H. GRAFICAS P1FF

Rigidez

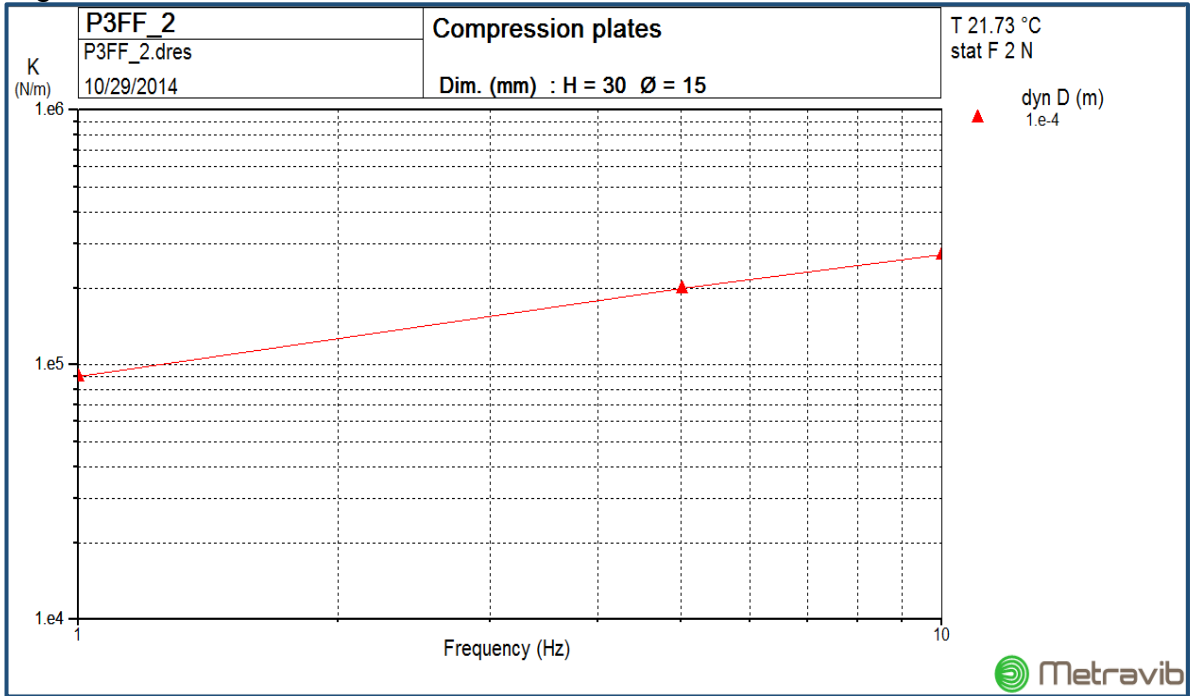


Resistencia

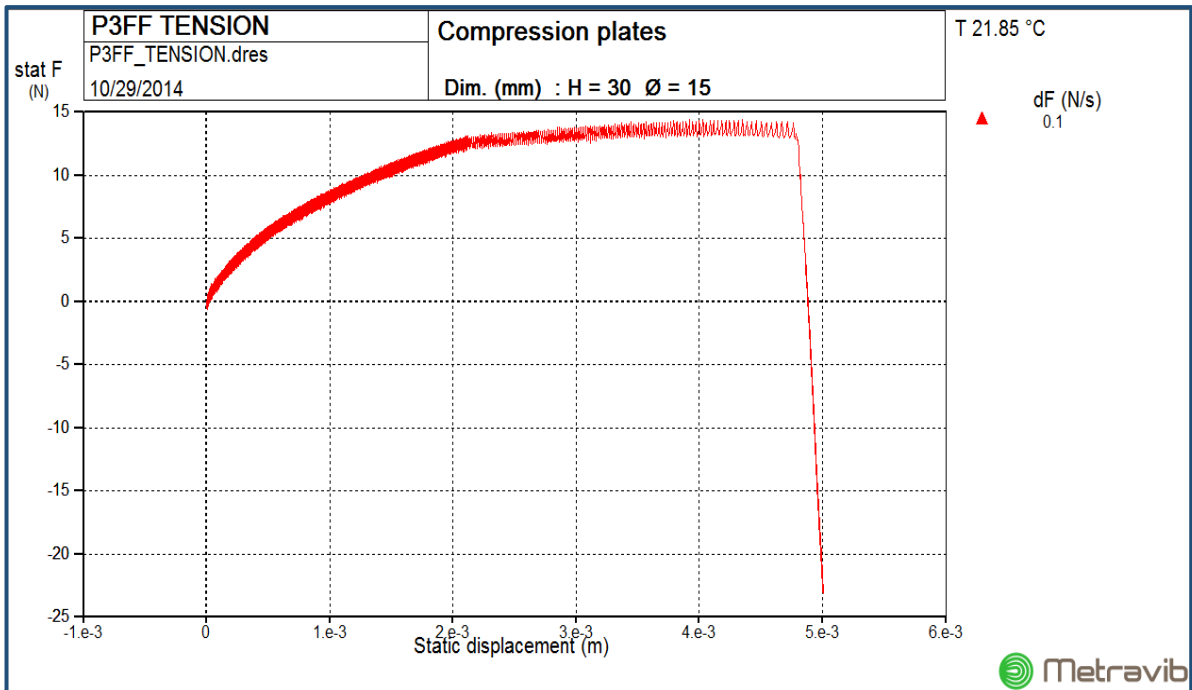


ANEXO I. GRAFICAS P3FF

Rigidez de P3FF.

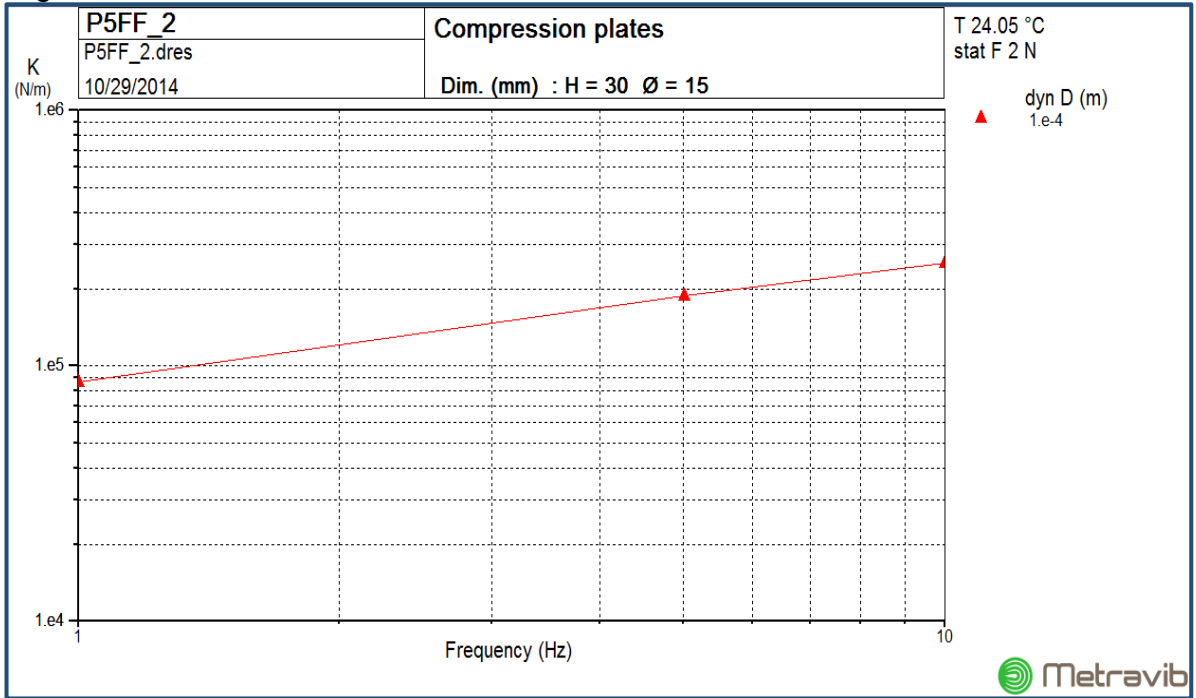


Resistencia de P3FF.



ANEXO J. GRAFICAS P5FF

Rigidez de P5FF.



Resistencia de P5FF.

