

**PUESTA A PUNTO DE UN ENSAYO DE TRACCION SOBRE MATERIALES
PLASTICOS EN LA MAQUINA DMA (DYNAMIC MECHANICAL ANALIZER)**

**DANIELA BEDOYA SUAZA
MEREDITH ALEXANDRA SIZA LÓPEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2017

**PUESTA A PUNTO DE UN ENSAYO DE TRACCION SOBRE MATERIALES
PLASTICOS EN LA MAQUINA DMA (DYNAMIC MECHANICAL ANALIZER)**

**DANIELA BEDOYA SUAZA
MEREDITH ALEXANDRA SIZA LÓPEZ**

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniera Civil**

**Director
EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN
Dr. En Ingeniería Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2017

DEDICATORIA

Hoy se termina una pequeña etapa de este sueño, que aunque no fue fácil valió todo mi esfuerzo y dedicación.

Este proyecto lo dedico principalmente a Dios, por darme la vida y llenarme de salud para lograr llegar hoy día, a este momento tan importante de mi formación profesional como ingeniera civil, por guiarme por un buen camino y no permitir que me rindiera frente a los obstáculos que se presentaron.

A mis padres, Martha N. Suaza Gálvez y Wilmar Bedoya Díaz, que por ellos soy lo soy; agradezco su esfuerzo y apoyo, por el cual logre alcanzar este tan anhelado título, por su comprensión, consejos y sobre todo su amor, que a pesar de estudiar lejos, siempre me dieron fuerzas para superar toda calamidad; por eso este triunfo es especialmente para los dos, los amo.

A esos ángeles que Dios puso en mi camino, Mary y cris, les agradezco por ser parte de mi familia, por apoyarme y siempre alentarme a seguir adelante, por siempre tener una palabra de aliento y un gran abrazo cuando los necesite, los quiero mucho.

A ti, Elvis Torres, mi amor, gracias por aparecer en mi vida, brindarme tu alegría y apoyarme en la culminación de este proyecto, y sobre todo te agradezco por apoyarme e impulsarme cada día a lograr más sueños por más duros que parezcan, Te Adoro.

A mi familia, aquellos que pusieron su granito de arena durante todos estos años, y me enviaban su buena energía y apoyo, mil gracias por su cariño.

A ti abuelita que hoy me acompañas desde el cielo, gracias por quererme tanto y haberme siempre apoyado en cada locura, sé que estarás muy feliz de saber que lo logre, Te adoro y te extraño mucho.

Y por último, ni los más ni menos importantes, mis amigos, familia que elegimos en el pasar del tiempo; gracias por ser cómplices de muchas locuras, de haber guerreado juntos, y también de haber disfrutado al máximo el pasar de nuestros estudios en la universidad.

DANIELA BEDOYA SUAZA

DEDICATORIA

A DIOS por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y haber puesto en mi camino aquellas personas que me acompañaron en este proceso.

A mis PADRES por ser pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, académica y de la vida, por creer en mí y darme una carrera para mi futuro, mi madre DORA LOPEZ PARADA quien siempre estuvo fuerte y constante guiando mi camino, mi padre LUIS ERNESTO SIZA GOZALEZ que, aunque lejos físicamente me dio apoyo en su medida.

A mi nona VIRGINIA GONZALEZ quien creyó en mis capacidades y espero pacientemente que este momento llegara.

A mi hermana KATHERIN SIZA LOPEZ por ser el ejemplo de una hermana mayor, acompañarme y sobre todo por amarme, a mi tía Ofelia, mi tía Rosalba, mi tía Carmen y a todos aquellos que participaron directa e indirectamente.

A mis sobrinas Valery Rodríguez Siza y mariana Orozco Siza para que vean en mí un ejemplo a seguir. A Rubén Darío Orejarena quien con su amor y dedicación me acompañó en los múltiples sube y baja que se presentaron en este proceso.

A mis amigos Erika, Joyce, Estephany, Daniela, Diana, quienes estuvieron a mi lado durante los momentos difíciles y los momentos felices.

Gracias a todos ustedes y los que saben que hicieron parte de esto y no nombré.

MEREDITH ALEXANDRA SIZA LÓPEZ

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. LOS PLÁSTICOS.....	16
1.1 TIPOS DE PLASTICOS	17
1.1.1 Termoplásticos.....	17
1.1.2 Termoestables.	17
1.1.3 Elastómeros.	17
2. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MATERIALES PLÁSTICOS	19
2.1 RESISTENCIA A LA TENSIÓN	20
2.2 RIGIDEZ	21
2.3 DUCTILIDAD	21
2.4 ELONGACIÓN	22
2.5 TIPOS DE COMPORTAMIENTO EN ENSAYOS ESFUERZO-DEFORMACIÓN	22
2.5.1 Comportamiento elástico.	23
2.5.2 Comportamiento plástico.	24
2.5.3 Comportamiento viscoso.....	26
2.5.4 Comportamiento elasto-plástico.....	27
2.5.6 Comportamiento visco-elástico.	28
2.6 DEFORMABILIDAD Y PROPIEDADES AFINES	29
2.7 ENSAYOS MECÁNICOS APLICADOS A PLÁSTICOS	30
3. PUESTA A PUNTO DEL ENSAYO DE TENSIÓN BAJO CARGA MONOTÓNICA	32
3.1 DESCRIPCION GENERAL DE LA PRUEBA	32
3.2 PROBETAS DE ENSAYO.....	33

3.3 INSTRUMENTO DE MEDICION (PIE DE REY DIGITAL).....	34
3.4 MÁQUINA DE CARGA	35
3.5 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO.....	37
3.6 RESULTADOS DEL ENSAYO.....	38
3.7 FORMATO DE PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	39
4. PUESTA A PUNTO DEL ENSAYO A TRACCION BAJO CARGA CÍCLICA.....	40
4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PRUEBA	40
4.2 PROBETAS DE ENSAYO.....	40
4.2.1 Probetas y materiales a usar en el ensayo a tracción.....	42
4.3 DESCRIPCIÓN DE LA MAQUINA DE CARGA METRAVIB DMA+1000	42
4.3.1 Rigidez y frecuencia del equipo METRAVIB DMA+1000.....	43
4.4 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO	43
4.5 RESULTADOS DEL ENSAYO.....	46
4.6 FORMATO DE PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	47
5. CONCLUSIONES	48
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	50
BIBLIOGRAFIA.....	52
ANEXOS.....	54

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Velocidades de prueba [9]	33

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Curva tensión-deformación para distintas clases de plásticos.....	20
Figura 2. Clasificación de los cuerpos elásticos.	23
Figura 3. Clasificación de los cuerpos plásticos.	25
Figura 4. Clasificación de los cuerpos elásticos.	26
Figura 5. Deformación elasto-plastico	27
Figura 6. Comportamiento de un material visco-elástico	28
Figura 7. Curvas de esfuerzo deformación a la tensión, para distintos polímeros.	29
Figura 8. Dimensiones de las probetas 1BA [9].....	34
Figura 9. Pie de rey digital del laboratorio de materiales de construcción.	35
Figura 10. Maquina MTS Material Test System	36
Figura 11. Curva fuerza desplazamiento del caucho natural.	38
Figura 12. Curva fuerza desplazamiento del neopreno.	39
Figura 13. Cámara para ejecución de ensayos-maquina DMA.....	41
Figura 14. Dimensiones de la probeta	41
Figura 15. Probetas con cada material plástico usado en la práctica.	42
Figura 16. Maquina Metravib DMA+1000	43
Figura 17. Imagen del programa donde se introducen datos iniciales.	44
Figura 18. Montaje de las probetas en las mordazas.	45
Figura 19. Ángulo VS frecuencia-(Angulo de desfase). Ver anexo 1.	46
Figura 20. Frecuencia VS módulo de elasticidad. Ver anexo 2.	46

RESUMEN

TITULO: PUESTA A PUNTO DE UN ENSAYO DE TRACCION SOBRE MATERIALES PLASTICOS EN LA MAQUINA DMA (DYNAMIC MECHANICAL ANALIZER)*

AUTORES: DANIELA BEDOYA SUAZA
MEREDITH ALEXANDRA SIZA LÓPEZ**

PALABRAS CLAVES: RESISTENCIA, MODULO DE ELASTICIDAD, FUERZA, ESFUERZO, DUCTILIDAD, CARGAS DINAMICAS, ANGULO DE DESFACE.

DESCRIPCION

En los estudios de un ingeniero civil es vital conocer las propiedades de los materiales empleados, ya que estas nos determinan las aplicaciones que podemos darle a este en la industria [1], y con ayuda del avance tecnológico que permite adicionar al mercado y a la vida cotidiana, materiales que pueden sustituir los convencionales; siendo los plásticos una gran opción, puesto que es un material comparativamente fácil y eficiente al reciclar, en un mundo donde el ambiente se está viendo afectado por materiales no biodegradables ni reutilizables, los cuales hace un aporte inverso a la hora de disminuir el calentamiento global y la contaminación de ecosistemas aumentando el daño a los mismos; esto ha llevado a tomar conciencia a los fabricantes, para utilizar componentes fabricados en materiales plásticos, y disminuir la utilización de materiales metálicos. En este proyecto se realizó un ensayo de tracción a materiales plásticos en la maquina DMA y la MTS, atendiendo las necesidades del consumidor, para conocer el comportamiento mecánico y dinámico de los mismos; sometiéndolos a fuerzas uni-axiales utilizando una muestra, obteniendo las propiedades con ayuda de los recursos disponibles en el laboratorio de caracterización de materiales de la universidad Industrial de Santander. En esta investigación se presentan los datos obtenidos de pruebas preliminares, elaboradas con probetas diseñadas para este ensayo, regidas por normas establecidas para llevarlo a cabo.

* Proyecto de grado

** Facultad De Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela De Ingeniería Civil, Director: Eduardo Alberto Castañeda Pinzón
Dr. en Ingeniería Civil

ABSTRACT

TITULO: PREPARATION OF A TENSILE TEST ON PLASTIC MATERIALS IN THE DMA MACHINE (DYNAMIC MECHANICAL ANALIZER)*

AUTORES: DANIELA BEDOYA SUAZA
MEREDITH ALEXANDRA SIZA LÓPEZ **

KEYWORDS: RESILIENCE, ELASTIC MODULUS, STRENGTH, EFFORT, DUCTILITY, DYNAMIC LOADS, ANGLE DESFACE.

DESCRIPTION

A Civil engineer must have a large knowledge about the material properties that are used in the Industry to determine the applications that can be used in any project. Also, the technology progress allows to replace conventional materials; like plastic, because it is comparatively a better material to use and recycle in a world where there is an increasingly polluted environment by the use of non-biodegradable or recyclable materials, making this a big problem in order to reduce the global warming and the polluted ecosystems, increasingly their damage. This is the reason why manufacturers have become aware, and nowadays they are using more plastic instead of using metallic materials. In this proyect was made a tension test preparation on plastic materials in the DMA and MTS Machine, Meeting the consumer needs, and analyzing their mechanical and dynamic behavior , putting them through to uniaxial forces, using a sample, and obtaining the properties with the available resources found in the material characterization lab of the Universidad Industrial de Santander. This research presents the data obtained in the past tests, elaborated with test tubes that were designed especially for this proyect and taking care about all the mandatory standars rules to carry them out.

*Degree Project.

** Phisics-Mechanics Engineering's Faculty. Civil Engineering's School. Director: Eduardo Alberto Castañeda Pinzón Dr. of civil engineering

INTRODUCCIÓN

EL conocimiento de las propiedades de los materiales plásticos utilizados en Ingeniería es un aspecto fundamental para el diseñador en su propósito de desarrollar las mejores soluciones a las diversas situaciones que se presentan en su cotidiano quehacer.

El laboratorio de caracterización de Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil cuenta con equipos que permiten prestar servicio de ejecución de ensayos para la caracterización mecánica de materiales plásticos. En este documento, se presentan las actividades en el desarrollo y puesta a punto de servicios que la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander puede ofrecer en la caracterización del comportamiento mecánico en tracción de materiales plásticos.

Para el montaje de los ensayos se revisaron los equipos existentes en el Laboratorio y se implementaron los procesos para la determinación de resistencia a la tracción y de la rigidez de materiales plásticos.

1. LOS PLÁSTICOS

Los plásticos son materiales formados por largas cadenas de átomos de carbono. Pueden ser: plásticos naturales (se obtienen de material primas vegetales o animales), y plásticos artificiales (se elaboran a partir de derivados del petróleo, gas natural o el carbón). [2]

Naturales:

- Corchos
- Caucho

Artificiales:

- Termoplásticos-PE,PVC, entre otros
- Termoestables: melanina, epoxi, baquelita.
- Elastómeros: neopreno.

Los plásticos generalmente constan de dos componentes:

1. El aglutinante que es la resina y le comunica solidez y elasticidad.
2. La materia de relleno que les da la dureza.

Todos los plásticos están formados por cadenas de grandes moléculas o polímeros unidos entre sí por grandes fuerzas de enlace. En general el material acabado está constituido por estas macromoléculas y diferentes aditivos, como son las cargas minerales, colorantes, plastificantes, estabilizantes, antioxidantes, etc. [2]

Las aproximadas 30 familias de plásticos existentes tienen un número ilimitado de variantes o especies y poseen una vasta extensión de características dentro de su propio dominio. Los plásticos pueden ser: blandos, tenaces, duros, quebradizos,

transparentes opacos, de cualquier color o admitir pocos colores, arder con facilidad o ser auto extingible, resistente a la intemperie o deteriorarse rápidamente en el exterior. [2]

1.1 TIPOS DE PLASTICOS

Los plásticos son compuestos sintéticos derivados de sustancias llamadas polímeros; estos se clasifican según las características que los identifican en:

1.1.1 Termoplásticos. Se caracterizan porque se ablandan con el calor y se pueden moldear para darle una gran variedad de formas, sabiendo que al enfriarse volverá a endurecerse manteniendo sus características iniciales.

Este proceso de ablandamiento y endurecimiento puede volverse a repetir cuantas veces se quiera que el material modifique su aspecto o sus propiedades; estos pueden ser Polietileno, polipropileno, PVC (cloruro de polivinilo), acrílicos, PET (tereftalato de polipropileno), nylon. [2]

1.1.2 Termoestables. Al calentarlos por primera vez el polímero se ablanda y se le puede dar forma bajo presión. Debido al calor comienza una reacción química en la que las moléculas se enlazan permanentemente. Esto se conoce como degradación.

Consecuencias: el polímero se hace rígido permanentemente y si se calienta no se ablandara si no que se romperá; estos productos son: Baquelita (resinas fenólicas), melanina (formaldehido), silicona. [2]

1.1.3 Elastómeros. Sustancias naturales o sintéticas dotadas de gran elasticidad, las macromoléculas tienen una disposición de arrollamiento, que permite estirarse

cuando se le aplica una fuerza de tracción que cuando para recobra su forma inicial. Estos pueden ser: Neopreno Caucho. [2]

Debido a la diversidad de plásticos existentes, las propiedades físicas y mecánicas de éstos son también muy diferentes entre ellos. La clase o tipo de plástico, la composición, los métodos de obtención, condiciones de fabricación y forma de utilización, tienen gran influencia en la rigidez, dureza, resistencia, tenacidad, transparencia, toxicidad e impermeabilidad de los plásticos. [2]

2. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MATERIALES PLÁSTICOS

Muchos materiales cuando están en servicio están sujetos a fuerzas o cargas. Es imprescindible conocer las características del material para diseñar el instrumento donde va a usarse de tal forma que los esfuerzos a los que vaya a estar sometido no sean excesivos y el material no se fracture. El comportamiento mecánico de un material es el reflejo de la relación entre su respuesta o deformación ante una fuerza o carga aplicada. [3]

El conocimiento de las propiedades de los materiales plásticos utilizados en Ingeniería es un aspecto fundamental para un diseñador. Los materiales plásticos se deforman bajo la aplicación de cargas y suelen presentar deformaciones permanentes aun cuando la causa, que originalmente las produjo, desaparezca. La realización correcta de ensayos sobre los materiales, permite conocer sus propiedades y comportamiento. [3]

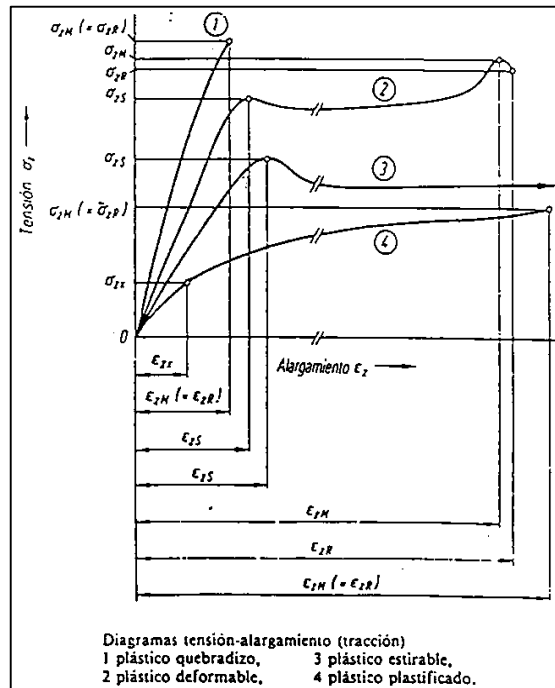
En la caracterización de los plásticos se suele medir la resistencia a la tensión y la rigidez del material, en ensayos de deformación uni-axial. Los resultados de los ensayos suelen representarse en curvas de tensión frente a deformación como la que aparece en la figura 1.

Se presentan materiales que para altas velocidades de deformación (> 1 mm/s) son materiales frágiles, pero con un módulo de elasticidad y una resistencia relativamente altas. Sin embargo, para bajas velocidades de deformación el mismo material exhibe un módulo de elasticidad y una resistencia menor, pero su ductilidad es ahora muy alta. Por lo cual el módulo depende de la velocidad del ensayo. Una velocidad lenta permite un mayor desenrollamiento de las cadenas moleculares, y de ahí un módulo inferior. Por su parte para una velocidad rápida

de ensayo el tiempo es insuficiente para que las cadenas se desenrollen y desenmarañen. [7]

A temperaturas altas, los polímeros se vuelven líquidos muy viscosos en los que las cadenas están constantemente en movimiento cambiando su forma y deslizándose unas sobre las otras. A temperaturas muy bajas, el mismo polímero sería un sólido duro, rígido y frágil. [8]

Figura 1. Curva tensión-deformación para distintas clases de plásticos.



Fuente. <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/06/propiedades-mecanicas.html>

2.1 RESISTENCIA A LA TENSION

La máxima fuerza de tensión por unidad de área que puede ser soportada por un material. Se puede calcular así: [1]

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \text{ (MPa)}$$

Donde:

σ = Es el valor de la tensión en cuestión, expresada en megapascales.

F = Es la fuerza moderada involucrada, en newton

A_0 =Es el área cruz particular inicial del espécimen en milímetros cuadrados.

2.2 RIGIDEZ

Relaciona la tensión necesaria para deformar un material en una unidad de longitud [5]. El módulo de rigidez es la relación entre el esfuerzo aplicado a un material y la deformación que este experimenta. [4]

$$S = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta}{l_0}} \text{ (Pa)}$$

Donde:

F: Fuerza aplicada

A: Área del espécimen donde es aplicada la fuerza.

Δ : Deformación experimentada.

l_0 : Longitud inicial del espécimen

2.3 DUCTILIDAD

Es una medida del grado de deformación plástica que puede ser soportada hasta la fractura. Un material que experimenta poca o ninguna deformación plástica se denomina frágil. La ductilidad puede expresarse cuantitativamente como alargamiento relativo porcentual, o bien mediante el porcentaje de reducción de área. El alargamiento relativo porcentual a rotura, %EL, es el porcentaje de deformación plástica a rotura. [3]

$$\%EL = \left(\frac{l - l_0}{l} \right) * 100$$

Donde:

l₀: Longitud calibrada antes de la aplicación de la carga.

l: Longitud adquirida por la sección calibrada, al iniciar la aplicación de la carga.

2.4 ELONGACIÓN

Elongación es la cantidad que puede estirarse de un material plástico sin que se fracture. Cuanto mayor sea el estiramiento del material antes de fallar, mayor será su absorción de impactos y menor la posibilidad de ruptura ante esfuerzos de tensión. Esta propiedad tiene importancia para numerosas aplicaciones, como por ejemplo en bolsas y sacos de gran contenido.

El alargamiento se expresa en porcentajes de la longitud original del material. El PP y el PVC registran valores muy elevados, que pueden alcanzar 450% y más, mientras que el poliéster y el PS acusan valores muy bajos.

2.5 TIPOS DE COMPORTAMIENTO EN ENSAYOS ESFUERZO-DEFORMACIÓN

No todos los materiales son ni sólidos ni líquidos, existen cuerpos elásticos, viscosos y plásticos, y aun así, la mayor parte de los materiales es una mezcla de todos, sobre todo los materiales de construcción.

Para caracterizar el comportamiento de un material en ensayos esfuerzo-deformación, es necesario someter probetas a sollicitación de carga y descarga observando la deformación que presentan cuando se mantiene la carga y la recuperación en el proceso de descarga. Los comportamientos pueden ser variados y se clasifican en:

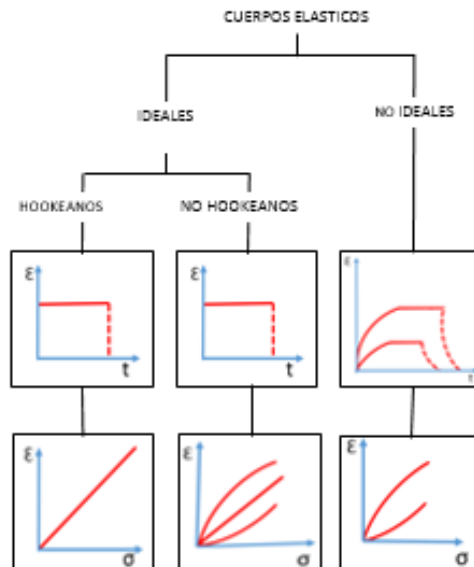
2.5.1 Comportamiento elástico. Se llaman cuerpos elásticos a aquellos que, después de actuar con un sistema de cargas y cuando se anulan los esfuerzos aplicados, recuperan su estado inicial.

Los cuerpos cuya recuperación es instantánea se denominan idealmente elásticos. [13]

HOOKE afirmaba que hay cuerpos idealmente elásticos que presentan una relación lineal entre deformación y tensión (hookeanos) y cuerpos, también idealmente elásticos, que sin embargo, no presentan una relación lineal, estos reciben el nombre de (no hookeanos). [13]

Los cuerpos elásticos no ideales, tienen a parecerse a los cuerpos idealmente elásticos, pero con la diferencia de que tiene lugar un proceso de deformaciones elásticas diferidas. [13] (Ver figura 2)

Figura 2. Clasificación de los cuerpos elásticos.



Fuente. Internet. [13]

Los materiales que cumplen la ley de HOOKE, las deformaciones elásticas son proporcionales a los esfuerzos que las originan. Se define MODULO DE ELASTICIDAD o MODULO DE YOUNG al cociente entre la tensión y la deformación: [13]

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Se define como COEFICIENTE DE POISSON, sin dimensiones, que representa el cociente, cambiado de signo, de las deformaciones en dirección transversal por deformación longitudinal. [13]

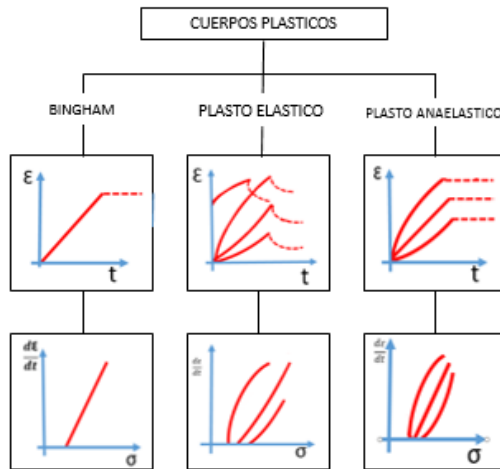
$$v = -\frac{\varepsilon_{transversal}}{\varepsilon_{longitudinal}}$$

Donde ε es la deformación.

La práctica demuestra que las deformaciones elásticas no son indefinidas, y la máxima tensión que un material es capaz de soportar en periodo elástico, se denomina límite elástico. [13]

2.5.2 Comportamiento plástico. La plasticidad es una cualidad propia de los materiales plásticos. Puede decirse que la plasticidad es una propiedad mecánica de algunas sustancias, capaces de sufrir una deformación irreversible y permanente cuando son sometidas a una tensión que supera su rango o límite elástico. [14]

Figura 3. Clasificación de los cuerpos plásticos.



Fuente. Internet. [13]

1. paralelamente al cuerpo de newton en el campo viscoso, se tiene el cuerpo bingham en el campo plástico, en el cual no se manifiesta deformación hasta pasar el límite de fluencia. A partir de este valor de la carga, la deformación que se produce es proporcional al exceso de carga sobre dicho valor. (Ver figura 3)

2. Los cuerpos PLASTO-ANELASTICOS-ELASTICOS presentan características análogas en viscosidad, y además la diferencia de exigir un valor mínimo al esfuerzo aplicado. [13]

(Ver figura 3)

Así como en la deformación elástica, se producía sin rotura de los enlaces internos del material, el sobrepasar el límite elástico, sí produce rotura de los mismos. [13]

Dentro del dominio plástico existen 3 propiedades muy relacionadas:

1 **DUCTILIDAD:** Aptitud de un material para experimentar una elevada deformación plástica bajo tracción. [13]

2 **MALEABILIDAD:** Aptitud de un material para experimentar una elevada deformación plástica bajo compresión. [13]

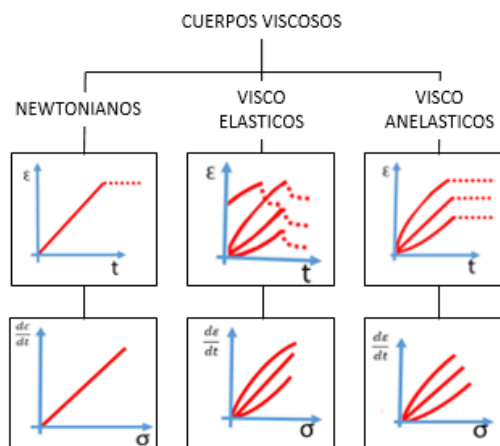
3 **FRAGILIDAD:** Es la propiedad opuesta a la plasticidad. Se dice que un material es frágil cuando es muy pequeña su deformación plástica antes de la rotura. [13]

2.5.3 Comportamiento viscoso. La viscosidad se define como la fuerza necesaria, por unidad de superficie, para mantener una diferencia de velocidad unida entre 2 planos paralelos que se encuentran a la unidad de distancia. A su inversa se le llama fluidez. [13]

$$F = \eta \cdot S \cdot \frac{dV}{dz}$$

$$D = \frac{dV}{dz} = \frac{d\varepsilon}{dt} \quad \tau = \frac{F}{S}$$

Figura 4. Clasificación de los cuerpos elásticos.



Fuente. Internet.[13]

1. **NEWTON**, admite que la viscosidad es cte. para tiempo, presión y T^a ctes, los cuerpos que cumplen estas condiciones se llaman newtonianos, y cumplen que la $D = k\tau$, es decir, D proporcional a τ . [13] (Ver figura 4)

2. La viscosidad a diferencia de la elasticidad, solo implica un movimiento de unas capas sobre otras produciendo un desplazamiento entre las partículas, por esa razón al retirar la carga, el cuerpo no hace el más mínimo intento para volver al estado primitivo. A mayor T^a , menos viscosidad, ya que decrece la atracción entre las partículas. (Ver figura 4)

3. Los cuerpos VISCO-ANELATICOS se diferencian de los newtonianos en que la velocidad de deformación no es proporcional a la tensión. $D \neq kt$. (Ver figura 4)

4. Como en los newtonianos, cuando la tensión es nula, la velocidad de deformación también lo es, y si se retira la carga del cuerpo mantiene la deformación alcanzada. Ej. Betunes asfálticos. (Ver figura 4)

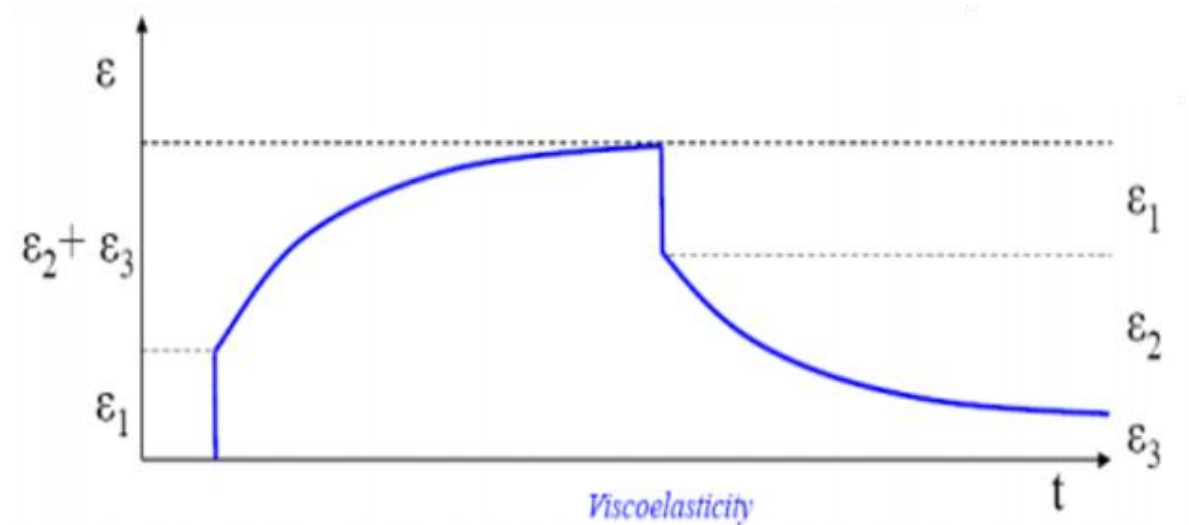
2.5.4 Comportamiento elasto-plástico. Un material es sometido a un estado tensional, tal que la tensión es constante hasta un tiempo t , pero en este caso la tensión es superior al límite elástico del material; en consecuencia va a tener una deformación inmediata que va a contemplar una componente elástica y una componente plástica dejando el grafico de deformaciones con respecto al tiempo como un escalón; se produce de forma inmediata y se mantiene constante durante la aplicación de la tensión, y en el momento de eliminarla, se produce una recuperación a través de una línea paralela a la zona elástica y deja una deformación plástica permanente; recuperando solo la parte elástica.

Figura 5. Deformación elasto-plástico



2.5.6 Comportamiento visco-elástico. Los cuerpos VISCO-ELÁSTICOS no se resignan a adoptar la deformación, que, a la fuerza, se les ha impuesto, y aunque presentan características en todo análogas a los anteriores, presentan una tendencia a recuperar su estado inicial, cuando se les libera de las cargas, algo recuperan, pero por más tiempo que pase, siempre les queda una deformación remanente como recuerdo del proceso de cargas a que han estado sometidos. A modo de resumen, los cuerpos elásticos, la deformación remanente es nula, en los cuerpos newtonianos y en los visco-anelásticos la deformación remanente es la deformación alcanzada en el momento que se retira la carga y los cuerpos visco-elásticos son intermedios presentando unas deformaciones elásticas pero no totales. (ver figura 6)

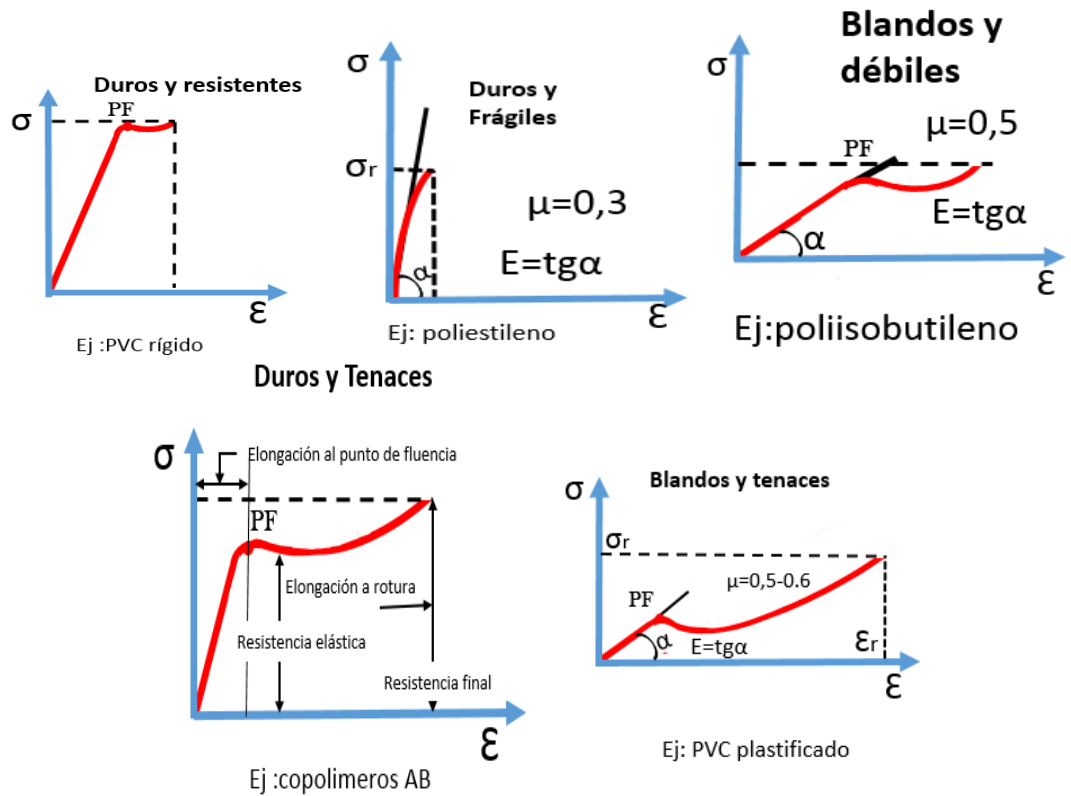
Figura 6. Comportamiento de un material visco-elástico



NOTA: A su vez se clasifican en blandos y débiles, duros y frágiles, blandos y tenaces, y duros y resistentes. (La figura 7) muestra en forma cualitativa las curvas de esfuerzo-deformación unitario normales para polímeros, las escalas son cualitativas y distintas para cada material. En la práctica, las magnitudes reales de los esfuerzos y las deformaciones pueden ser muy distintas entre sí.

Los elastómeros (es decir, hules o siliconas), tienen un comportamiento distinto a los otros materiales poliméricos ya que una gran parte de la deformación es elástica y no lineal. [6]

Figura 7. Curvas de esfuerzo deformación a la tensión, para distintos polímeros.



Fuente. Internet-resistencia de polímeros.

2.6 DEFORMABILIDAD Y PROPIEDADES AFINES

La propiedad que define la capacidad de un material para sufrir deformaciones antes de su rotura expresa la deformabilidad. Se denomina deformación, al alargamiento u acortamiento de un material que se produce por efecto de las acciones exteriores, y la deformación es a dimensional

En relación a la tensión (σ) y a la deformación (ϵ), es muy importante la curva tensión-deformación.

Entre un sólido y un líquido, la única diferencia que existe es la velocidad de deformación (D), e implícitamente interviene el tiempo al hablar de velocidad. Por

lo tanto, el comportamiento reológico de un material está definido por una relación entre tensiones, deformaciones y sus velocidades.

En un primer momento, consideraremos la clasificación de los materiales en sólidos y líquidos. El tiempo de relajación, es el tiempo que un cuerpo sometido a una carga tarda en estabilizar su deformación. Si el tiempo de relajación es cero, fluido perfecto, y si es infinito, sólido perfecto.

2.7 ENSAYOS MECÁNICOS APLICADOS A PLÁSTICOS

Todos los sectores vinculados a la industria de los polímeros dependen de los datos de ensayos para dirigir sus actividades. Así podemos enumerar a los productores de las materias primas (las plantas polimerizadoras), los diseñadores de productos, los fabricantes de máquinas, moldes y herramientas, los procesadores (o moldeadores) y finalmente los usuarios industriales o de bienes finales.

Por lo tanto, resulta esencial conocer y comprender con detalle las propiedades y ensayos aplicables a los polímeros, en la lista a continuación se encuentran ensayos mecánicos: [2].

- Deformación de carga (ASTM D-621).
- Deformación por compresión (ASTM D-395).
- Dureza: Durómetro (ISO 868 y ASTM D-2240), rockwell (ISO 2037 y ASTM D-785) y barcol (ASTM D-2583).
- Elongación (ISO 527 y ASTM D-638).
- Factor de compresión (ISO 171 y ASTM D_1895).
- Fluencia (ISO 899 y ASTM D1990).
- Índice de moldeo (ASTM D-731).

- Modulo de elasticidad, en compresión (ISO 4137 y ASTM D695), flexión (ASTM D-790) y tracción (ASTM D-638).
- Resistencia a la cizalla (ASTM D-732).
- Resistencia a la compresión (ISO 604 y ASTM D-695).
- Resistencia a la fatiga (ISO 3385 y ASTM D-671).
- Resistencia a la flexión (ISO 178 y ASTM D-790).
- Resistencia a la tracción (ISO R527 y ASTM D-638).
- Resistencia al rasgado (ASTM D-624).
- Rigidez de flexión (ASTM D-747).
- Rotura de fluencia (ASTM D-2990).

En este estudio, se establecen los procedimientos y protocolos a seguir, al interior del Laboratorio de Caracterización de Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, para realizar los siguientes ensayos sobre materiales plásticos:

- Ensayo de Módulo de Elasticidad, bajo carga mono tónica en tracción (Norma ISO 527-1).
- Ensayo de Resistencia a tracción (Norma ISO 527-1).
- Ensayo de Elongación (Norma ISO 527-1).
- Ensayo de Rigidez bajo cargas dinámicas (No existe Norma, se haría bajo las condiciones establecidas por el cliente).

3. PUESTA A PUNTO DEL ENSAYO DE TENSIÓN BAJO CARGA MONOTÓNICA

Con el equipo MTS (Material Test System) con el cual cuenta el laboratorio de caracterización de materiales de la Universidad Industrial de Santander se implementó el ensayo de tracción para materiales plásticos, con probetas de forma y tamaño normalizados como se describe a continuación, en el cual se pretende encontrar carga última antes de ruptura, módulo de elasticidad, esfuerzo máximo y elongación; establecidos por la Norma ISO 527-1.

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PRUEBA

Se aplica una fuerza de tensión sobre una probeta de forma y tamaño normalizado, [6]. Las muestras de ensayo se llevarán a cabo de tal manera que el deslizamiento relativo a las mordazas se evita en la medida de lo posible, el sistema de sujeción no deberá provocar la fractura prematura en los agarres. [9] de ser así se deberá adaptar las mordazas con una platina lisa que no cause este tipo de fracturas. Esta prueba se lleva a cabo a temperatura ambiente [6]; es importante destacar, que los materiales plásticos tienen cambios drásticos con incrementos o decrementos de temperaturas leves.

Se asigna la velocidad de la separación de las mordazas de la máquina de prueba durante la prueba. Se expresa en milímetros por minuto (mm / min). [9]. Debe tardar entre 0.5 min y 5 min, por lo cual se debe escoger una velocidad que este dentro del parámetro anterior según el material escogido [12].

Tabla 1. Velocidades de prueba [9]

tabla 1 recomendado velocidades de prueba		
velocidad		tolerancia
mm/min		%
1		+20
2		+20
5		+20
10		+20
20		+10
50		+10
100		+10
200		+10
500		+10

3.2 PROBETAS DE ENSAYO

Probetas de materiales rígidos, semirrígidos, termoplásticos, termoendurecibles, laminados y fibras.

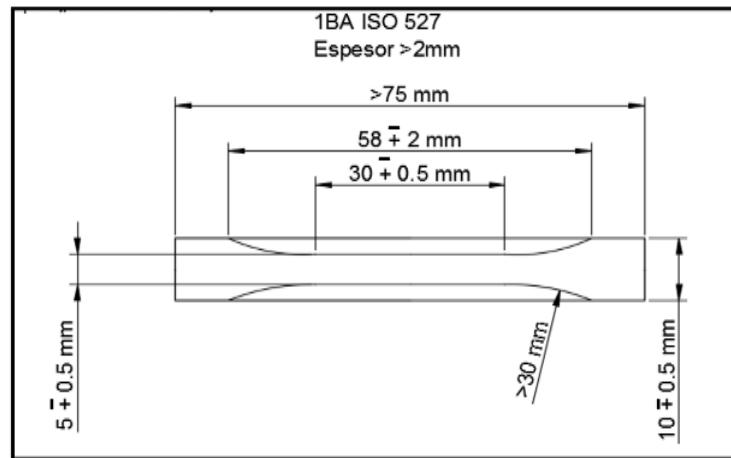
Con sección central reducida con el fin de que la falla se produzca dentro del área demarcada [6] con un mínimo de cinco muestras de ensayo se someterá a ensayo para cada una de las direcciones necesarias de las pruebas y de las propiedades consideradas (módulo de mediciones puede ser más de cinco si se requiere una mayor precisión del valor medio.

Muestras que se rompen dentro de los hombros o el rendimiento de las cuales se extiende a la anchura de los hombros debe ser desechado y otras muestras deberán ser probados [9]

Se debe medir la probeta, con un pie de rey o su equivalente, capaz de leer a 0,02 mm o menos y provisto de medios para la de medida de espesor y ancho de las

probetas de ensayo. Las dimensiones y la forma de los yunques, deben ser adecuadas para las muestras que se miden y no deben ejercer una fuerza sobre la muestra tal que de forma detectable después de la dimensión que se mide. [9]

Figura 8. Dimensiones de las probetas 1BA [9]



3.3 INSTRUMENTO DE MEDICION (PIE DE REY DIGITAL).

También denominado calibrador, cartabón de corredera o pie de rey, es un instrumento de medición, principalmente de diámetros exteriores, interiores y profundidades, utilizado en el ámbito industrial. El vernier es una escala auxiliar que se desliza a lo largo de una escala principal para permitir en ella lecturas fraccionales exactas de la mínima división.

Con el pie de rey digital puede efectuar mediciones en mm o pulgadas, es un instrumento sumamente delicado y debe manipularse con habilidad, cuidado, delicadeza, con precaución de no rayarlo ni doblarlo (en especial, la colisa de profundidad). Deben evitarse especialmente las limaduras, que pueden alojarse entre sus piezas y provocar daños. [15]

Figura 9. Pie de rey digital del laboratorio de materiales de construcción.



3.4 MÁQUINA DE CARGA

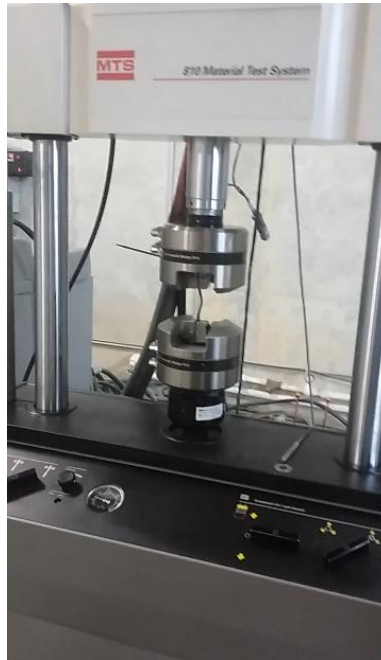
El laboratorio de caracterización de materiales de la Universidad industrial de Santander cuenta con la maquina MTS (Material Test System), dicha maquina se utilizará para llevar a cabo el ensayo de tracción en plásticos.

El sistema MTS está compuesto por un bastidor de carga, un controlador electrónico de bastidor y el software.

Utiliza el software que proporciona un control total de la máquina, adquisición y gestión de datos y análisis y presentación avanzados de datos.

El bastidor de carga tiene forma rectangular e incluye una unidad base y una o dos columnas verticales. Los dos modelos de columnas tienen un miembro transversal superior fijo. El cabezal transversal en movimiento es dirigido por tornillos esféricos de precisión en el bastidor de carga. Esta configuración es muy eficaz para minimizar la fricción y el desgaste.

Figura 10. Maquina MTS Material Test System



El controlador del bastidor es el responsable de:

- Proporcionar datos principales y tensión de procesamiento de señal
- Detectar la activación de los interruptores de límite
- Proporcionar la interfaz entre el software (computadora) y el bastidor
- Proporcionar servo control digital de velocidad y precisión de posición.
- Responsable del dispositivo para medir fuerza auto ID y del bastidor
- Interfaz del aparato de control
- Programable, 1000 Hz máximo, velocidad de adquisición de datos
- Gestión de la Potencia de bastidor

El software dispone de varias plantillas de método. El Paquete de Ensayos Generales está dividido en 4 categorías de prueba específicas.

- MTS Tracción
- MTS Compresión
- MTS Flexión
- MTS Pelado – Desgarro. [11]

3.5 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

- Se selecciona el material de estudio
- Seguido se cortan las probetas de ensayo con las respectivas dimensiones mencionadas anteriormente y estandarizadas por la norma ISO 527-2
- Mediante el pie de rey digital disponible en el laboratorio se deben tomar las medidas exactas de la probeta, los yunques no deben ejercer una fuerza sobre la muestra tal que dé forma detectable después de la dimensión que se mide, esto se hace para incrementar la exactitud de los resultados.
- Al operario de la maquina se le debe proporcionar una velocidad de prueba en mm/min tal que la prueba demore entre 0.5 min y 5min. [12]
- Se informa al operario que es necesario 500 datos por ensayo.
- Seguido se procede a sujetar la probeta con la mordaza inferior y superior.
- Respectivamente se acude al software para iniciar el ensayo dando clic en el botón star.

Se debe hacer seguimiento a la máquina, pues esta no para en lo que la probeta falla, sino hasta llegar al valor máximo de desplazamiento asignado. A lo que la probeta falla se asigna fin del ensayo y se guardan los datos arrojados por el software.

- Se repite el ensayo siete veces por cada material.
- Se obtienen las siguientes graficas de fuerza vs desplazamiento, en las cuales se ve reflejado el comportamiento de material.

Los valore arrojados por el software en formato compatible con Excel tienen exactitud de 0.001N de allí utilizaremos los valores de fuerza máxima para dar resultados a los clientes.

3.6 RESULTADOS DEL ENSAYO

Se calculan los valores módulo de elasticidad [9].

$$Et = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

Et: es el módulo de elasticidad o de Young, expresado en el megapascales.

ε1: es la tensión, en megapascales, medida al valor de deformación ε1: 0.0052.

ε2: es la tensión, en megapascales, medida al valor de deformación ε2: 0.0056.

Se obtienen graficas fuerza deformación (ver figura 11 y figura 12).se presentan los estilos de grafica que se producirán. También se obtienen los valores respectivos de fuerza máxima, tiempo hasta la falla y deformación, en un archivo compatible con Excel. El valor de elongación que es igual a longitud final sobre la longitud inicial por cien.

Figura 11. Curva fuerza desplazamiento del caucho natural.

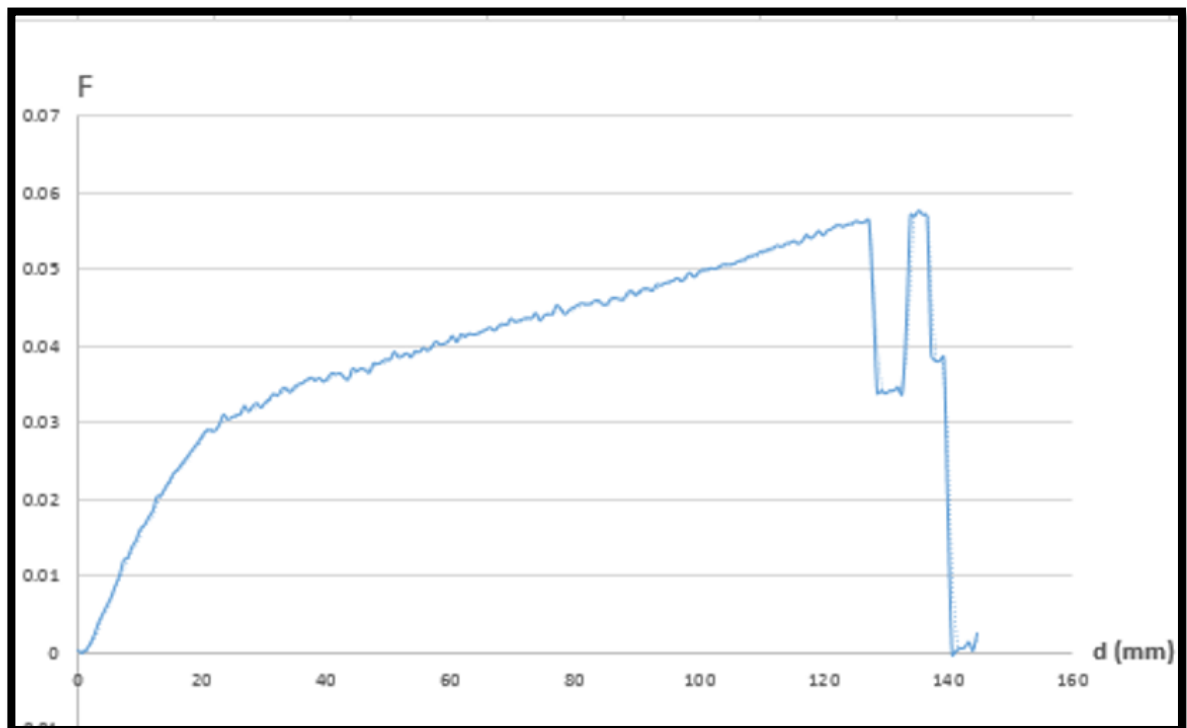
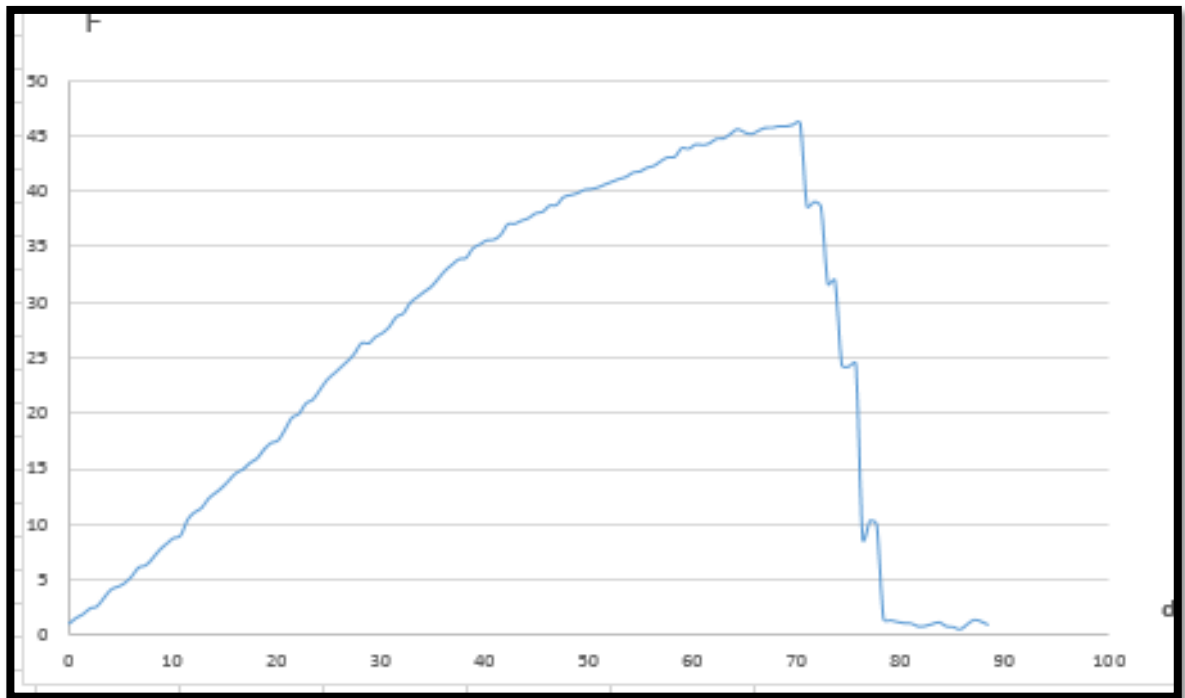


Figura 12. Curva fuerza desplazamiento del neopreno.



3.7 FORMATO DE PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se muestra el formato donde se entregarán los resultados del ensayo a tracción bajo carga monótonica, en el cual se presenta la gráfica esfuerzo-deformación, el valor de fuerza última, tiempo del ensayo, esfuerzo máximo, elongación, módulo de elasticidad o Young y tensión en cuestión. (ver anexo 3).

4. PUESTA A PUNTO DEL ENSAYO A TRACCION BAJO CARGA CÍCLICA

El laboratorio de caracterización de materiales de la Universidad Industrial de Santander, cuenta actualmente con un equipo DMA (Dynamic Mechanical Analysis), con el cual es posible aplicar cargas dinámicas sobre probetas de pequeñas dimensiones controlando la fuerza o la deformación del material. Esta máquina y sus prestaciones, sirven como punto de referencia para el dimensionamiento de las probetas a utilizar y de los elementos necesarios para simular el efecto deseado. [10] Esta máquina se utilizó para realizar el ensayo de las probetas antes de la ruptura y obtener los datos de esfuerzo deformación antes de fallar, debido a su poco recorrido al aplicar la tensión, la maquina no se usó para hacer fallar las probetas.

4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PRUEBA

La prueba consiste en determinar el comportamiento mecánico de los materiales, y tiene como objetivo definir la resistencia elástica, y el ángulo de desfase cuando se le somete a cargas cíclicas.

4.2 PROBETAS DE ENSAYO

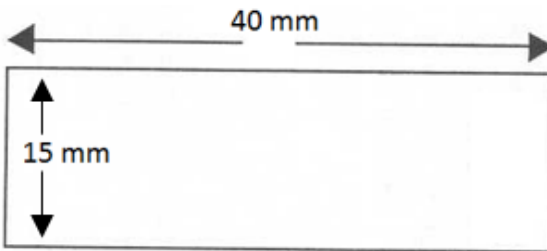
El equipo DMA posee una cámara para la ejecución de ensayos en ambiente de temperatura controlada, de las siguientes dimensiones: Alto 120 mm, Ancho 140 mm y Fondo 75 mm. (Ver figura 13).

Figura 13. Cámara para ejecución de ensayos-maquina DMA.



Los cuerpos de prueba son de forma rectangular, para las cuales se adoptaron las siguientes medidas: 20 mm de longitud de prueba, ancho de 15 mm, y 10 mm adicionales en cada extremo para la sujeción de las mordazas (largo de 40 mm en total); y siguiendo la norma de ensayos a tracción ISO-527, un espesor no menor a 2 mm. (Ver figura 14)

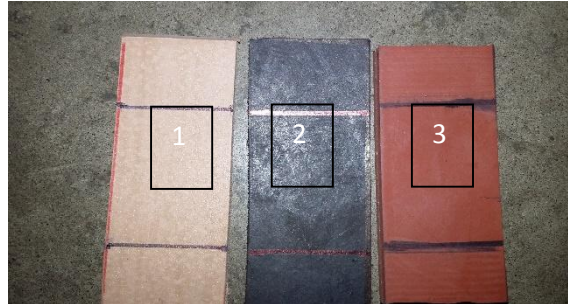
Figura 14. Dimensiones de la probeta



El espesor es importante tener medidas precisa para evitar márgenes de error grandes, es por esto que se recomienda seguir EL MÉTODO DE ENSAYO ASTM D5947-03 ESTANDAR PARA LAS DIMENSIONES FÍSICAS DE LOS ESPECÍMENES DE PLÁSTICO SOLIDOS.

4.2.1 Probetas y materiales a usar en el ensayo a tracción. En el proyecto, se establece un uso generalizado para plásticos. Para las pruebas que permitieron definir los procedimientos, se eligieron tres tipos de materiales (ver figura 15), los cuales son muy utilizados en diferentes modalidades.

Figura 15. Probetas con cada material plástico usado en la práctica.



1. Neolite: usado en plantilla de zapatos.
2. Neopreno: usado para recipiente de agua caliente, resiste temperaturas hasta 180 °c.
3. Caucho natural: usado para recipiente de agua caliente, resiste temperaturas hasta 360 °c.

4.3 DESCRIPCIÓN DE LA MAQUINA DE CARGA METRAVIB DMA+1000

Metravib proporciona a los laboratorios instrumentación para la caracterización de las propiedades mecánicas de los materiales mediante el análisis mecánico dinámico (DMA), (Ver Figura 16). [10]

Figura 16. Maquina Metravig DMA+1000



Fuente. Proyecto de grado. Concepción de un ensayo de fatiga sobre ligantes bituminosos.

4.3.1 Rigidez y frecuencia del equipo METRAVIB DMA+1000. La rigidez en el equipo DMA Metravig se define como la capacidad que tiene la máquina de producir fuerza sobre un cuerpo para generar una deformación. Esta magnitud (K) va desde 1×10^1 [N/m] hasta 1×10^7 [N/m], y es importante la verificación del mismo, puesto que, para un valor dentro de este rango, se presume que los resultados que genera el equipo son altamente confiables. Por otro lado, la frecuencia con la que el equipo es capaz de suministrar la carga varía desde 1×10^{-5} [Hz] hasta 1×10^2 [Hz]. [10]

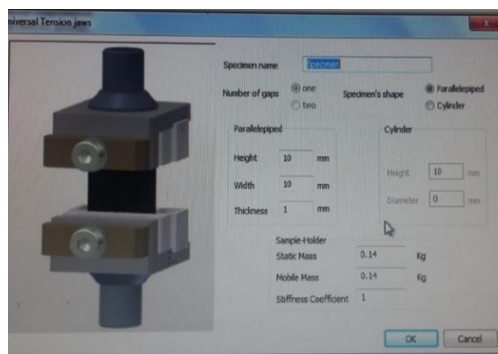
4.4 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

- Se anotan las medidas correspondientes iniciales de la probeta a ensayar, (estas medidas deben ser tomadas con ayuda de un pie de rey para una precisión mayor tal y como se describe anteriormente) se procede a ejecutar el programa de ensayo, y se ingresan las dimensiones ya medidas (ver figura 17).

La máquina requiere introducir datos exactos del ancho, largo y espesor de la probeta.

- Se le hacen las marcas a la probeta para ver en el punto exacto donde deben quedar las mordazas para quedar el espacio libre correcto.
- Se prepara la máquina de ensayo y se colocan las mordazas correspondientes usadas para sujetar la probeta. Se procede a sujetar la probeta verificando su verticalidad (para verificar la verticalidad se debe medir el espacio libre entre mordazas a ambos extremos de la misma con una escuadra, para el cual debe ser el mismo en ambos lados) Iniciando con las mordazas de la parte inferior.

Figura 17. Imagen del programa donde se introducen datos iniciales.



- Se le coloca el seguro a las mordazas, se comienza a bajar la parte movable de la maquina hasta ajustarla en la medida de las probetas, cuando se llega a la posición, y antes de sujetar la probeta en su parte superior, se establecerá el punto inicial de la prueba, o punto cero, de esta manera se puede registrar en las tablas la lectura inicial del calibrador instalado en la máquina. (Ver figura 18).

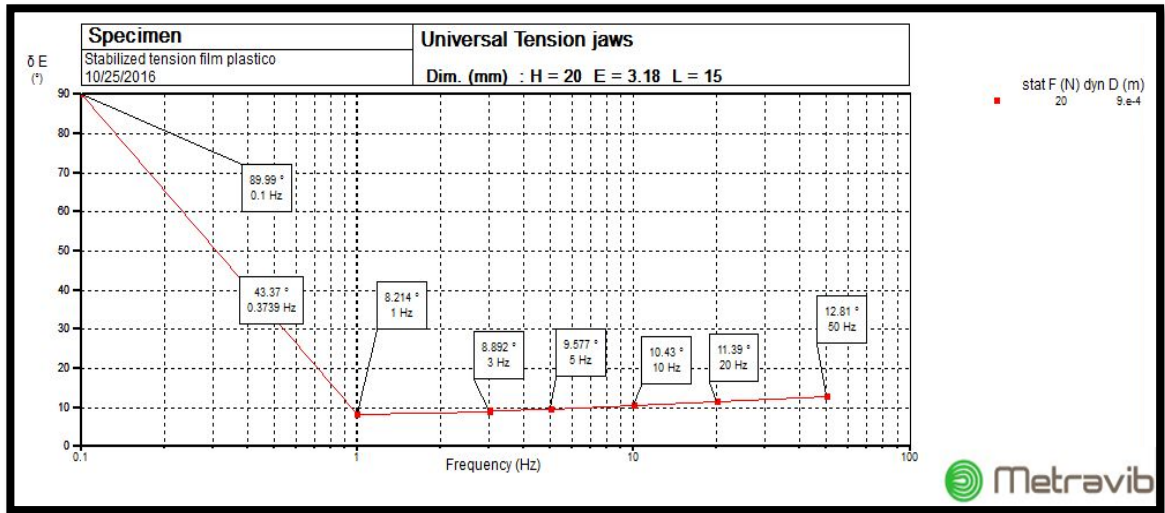
Figura 18. Montaje de las probetas en las mordazas.



- Después de ajustadas las mordazas se procede a programar las frecuencias de ensayo; en este caso se usaron: 0.1, 1, 3, 5, 10, 20, 50, 20, 10, 5, 3, 1 (Hz); en las cuales la maquina toma series de datos que se verán reflejados en las gráficas que arroja la misma. Sobre la probeta se aplicó una carga de tracción de 5 N y seguidamente la probeta es solicitada en tracción cíclica con un desplazamiento de 0.4 mm en las frecuencia programadas.
- Luego se procede a dar inicio al ensayo el cual tomara un tiempo determinado según las frecuencias que se le pida realizar.
- Una vez se cuenten con todos los datos experimentales, la maquina arrojara las gráficas respectivas del ensayo.

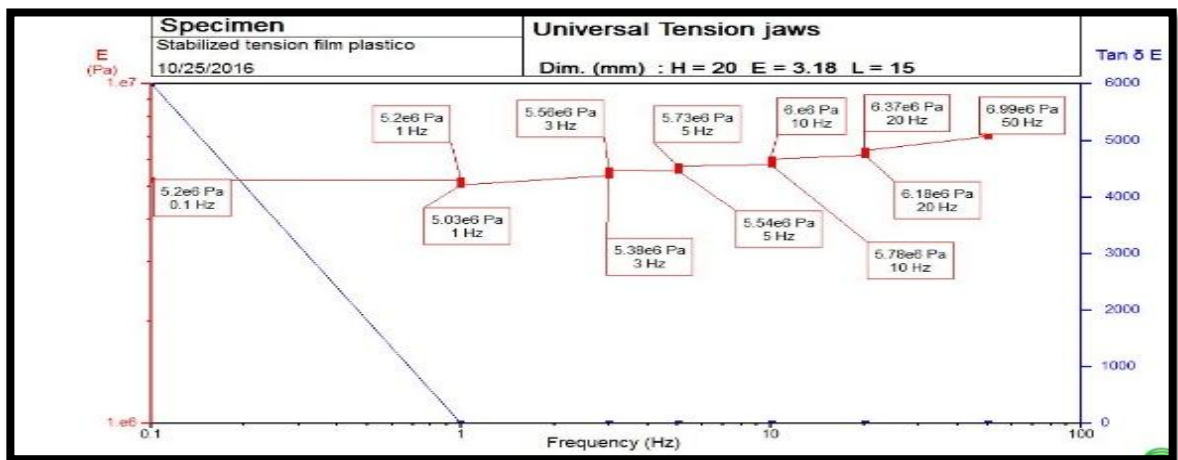
4.5 RESULTADOS DEL ENSAYO

Figura 19. Ángulo VS frecuencia-(Angulo de desfase). Ver anexo 1.



En la lectura de los datos del ángulo de desfase (ver figura 19) o anexo 1 para más claridad), se realiza para saber qué tan viscoso o que tan elástico es el material, entre el ángulo dado se acerque a cero el material es completamente elástico, y si este ángulo se acerca a 90 grados es un material completamente viscoso.

Figura 20. Frecuencia VS módulo de elasticidad. Ver anexo 2.



En la figura 20 se puede obtener los resultados de la medida de rigidez del material para cada frecuencia asignada.

4.6 FORMATO DE PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

A continuación se muestra el formato donde se entregarán los resultados del ensayo a tracción bajo carga cíclica, en el cual se presentan las gráficas de módulo de elasticidad y Angulo de desfase, complementado con una tabla de resultados en donde se registra un módulo de elasticidad para la respectiva frecuencia asignada por el cliente.

(Ver anexo 3).

5. CONCLUSIONES

- Se identificaron ensayos de caracterización de materiales plásticos que se pudieron implementar con los elementos existentes en el Laboratorio de caracterización de materiales de la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.
- Se establecieron los procedimientos para realizar ensayos de caracterización de la rigidez y de resistencia de materiales plásticos en el Laboratorio de caracterización de materiales de la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.
- Se pudo evidenciar que con la maquina DMA (Dynamic Mechanical Analysis) el ensayo solo se puede realizar antes de la ruptura y bajo cargas dinámicas.
- En la maquina MTS (Material Test System) se realizó el ensayo para fallar la probeta, usándola como complemento de la DMA para obtener datos de fuerza ultima bajo carga monótonica.
- Se pudo evidenciar que con la maquina DMA (Dynamic Mechanical Analysis) el ensayo solo se puede realizar antes de la ruptura y bajo cargas dinámicas.
- Se comprobó que los procedimientos establecidos de ejecución de ensayos, permiten obtener los parámetros de resistencia mecánica de materiales como el Neopreno, el Neolite y el Caucho natural.

- Se diseñaron los formatos de presentación de resultados y de cálculo de la resistencia de los materiales plásticos ensayados. Ver Anexo 3.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] MENDOZA BORJA Darío Enrique. Ensayo de tensión. Proyecto Universidad de Córdoba.

[2] TECNOLOGIA DE LOS PLASTICOS. Blog dedicado a los materiales plásticos, características, usos, fabricación, procesos de transformación y reciclado. Disponible: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/06/propiedades-mecanicas.html> Y <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/06/listado-de-ensayos-normalizados.html>

[3] MEDINA BEJARANO Edwin. Ensayo de tensión o tracción (Guía Laboratorio Mecánica de Materiales).

[4] PLASTICOS DE INGENIERIA DE ALTO MODULO DE ELASTICIDAD. Pdf. Disponible: <http://www.nexeosolutions.com/wp-content/uploads/2014/07/Plasticos-Ingenieria-Alto-Modulo-Elasticidad.pdf>

[5] ASIGNATURA: MATERIALES NO METÁLICOS. Tema 14- Resistencia de polímeros.pdf.

[6] ENSAYO DE TENSION. Protocolo. Curso de materiales. Edición 2011-2 facultad ingeniería industrial laboratorio de producción.

[7] PLASTICOS-Rigidez de polímeros. Diseño plástico. Disponible: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion5.PLASTICOS.Rigidez.Dise%F1o.pdf>

[8] PLASTICOS Y POLIMEROS. Disponible: <http://html.rincondelvago.com/plasticos-y-polimeros.html>

[9] DETERMINATION OF TENSILE PROPERTIES ISO 527-1 (Norma Europea DIN ISO 527-1)

[10] CONCEPCIÓN DE UN ENSAYO DE FATIGA SOBRE LIGANTES BITUMINOSOS. (Proyecto de grado de Ingeniería civil 2016). Y METRAVIB DMA+1000. Disponible: <http://metravib.acoemgroup.fr>. [Citado 02 de Noviembre de 2016].

[11] MTS Insight™ SISTEMAS DE ENSAYO DE MATERIALES. (Manual) Disponible: https://mts.com/cs/groups/public/documents/library/mts_004943.pdf

[12]. STANDARD TEST METHOD FOR TENSILE PROPERTIES OF PLASTICS (Norma internacional ASTM D638)

[13] MATERIALES DE CONSTRUCCION. Blog. Generalidades- deformidad y propiedades a fines. Disponible: <http://materconstruccion.blogspot.com.co/2011/11/generalidades-deformidad-y-propiedades.html>

[14] PLASTICIDAD. Definición Disponible: <http://definicion.de/plasticidad/>

[15] CALIBRE (INSTRUMENTO) Disponible: [https://es.wikipedia.org/wiki/Calibre_\(instrumento\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Calibre_(instrumento))

BIBLIOGRAFIA

ASIGNATURA: MATERIALES NO METÁLICOS. Tema 14- Resistencia de polímeros.pdf.

CALIBRE (INSTRUMENTO) Disponible:
[https://es.wikipedia.org/wiki/Calibre_\(instrumento\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Calibre_(instrumento))

CONCEPCIÓN DE UN ENSAYO DE FATIGA SOBRE LIGANTES BITUMINOSOS. (Proyecto de grado de Ingeniería civil 2016). Y METRAVIB DMA+1000. Disponible: <http://metravib.acoemgroup.fr>. [Citado 02 de Noviembre de 2016].

DETERMINATION OF TENSILE PROPERTIES ISO 527-1 (Norma Europea DIN ISO 527-1)

Disponible: <http://www.nexeosolutions.com/wp-content/uploads/2014/07/Plasticos-Ingenieria-Alto-Modulo-Elasticidad.pdf>

ENSAYO DE TENSION. Protocolo. Curso de materiales. Edición 2011-2 facultad ingeniería industrial laboratorio de producción.

MATERIALES DE CONSTRUCCION. Blog. Generalidades- deformidad y propiedades a fines. Disponible: <http://materconstruccion.blogspot.com.co/2011/11/generalidades-deformidad-y-propiedades.html>

MEDINA BEJARANO Edwin. Ensayo de tensión o tracción (Guía Laboratorio Mecánica de Materiales).

MENDOZA BORJA Darío Enrique. Ensayo de tensión. Proyecto Universidad de Córdoba.

MTS Insight™ SISTEMAS DE ENSAYO DE MATERIALES. (Manual) Disponible: https://mts.com/cs/groups/public/documents/library/mts_004943.pdf

PLASTICIDAD. Definición Disponible: <http://definicion.de/plasticidad/>

PLASTICOS DE INGENIERIA DE ALTO MODULO DE ELASTICIDAD. Pdf.

PLASTICOS Y POLIMEROS. Disponible: <http://html.rincondelvago.com/plasticos-y-polimeros.html>

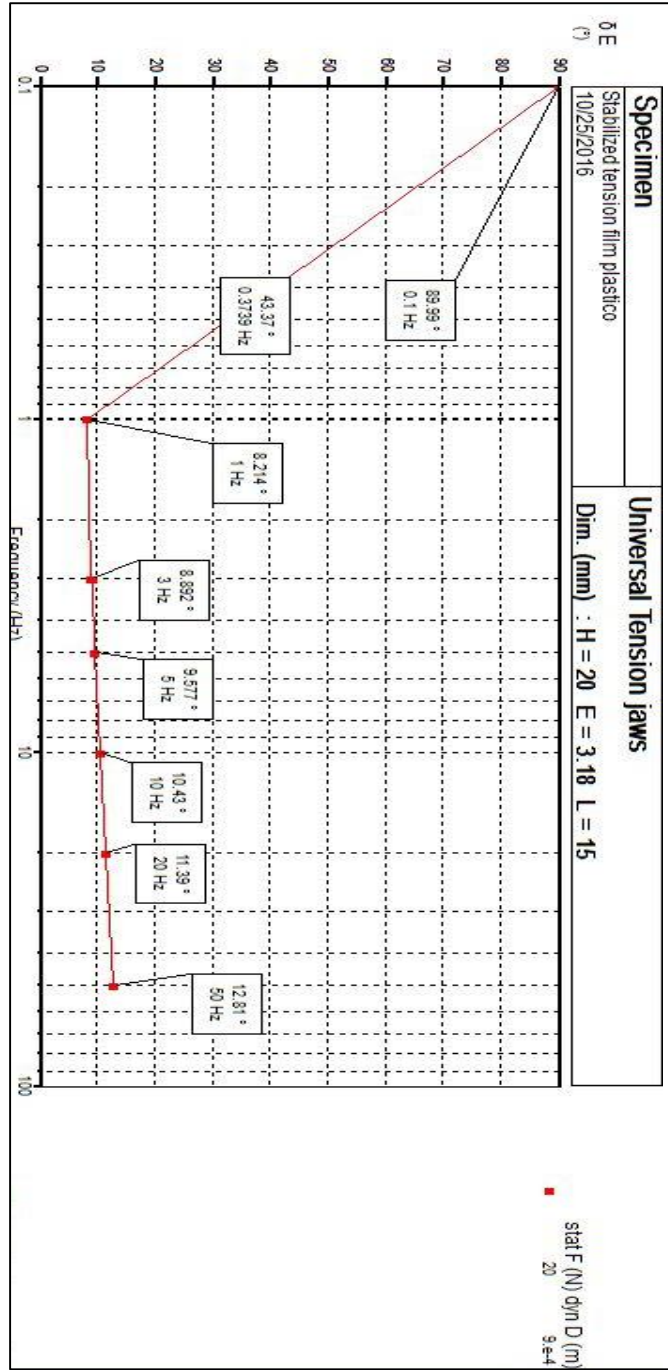
PLASTICOS-Rigidez de polímeros. Diseño plástico. Disponible: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion5.PLASTICOS.Rigidez.Dise%F1o.pdf>

STANDARD TEST METHOD FOR TENSILE PROPERTIES OF PLASTICS (Norma internacional ASTM D638)

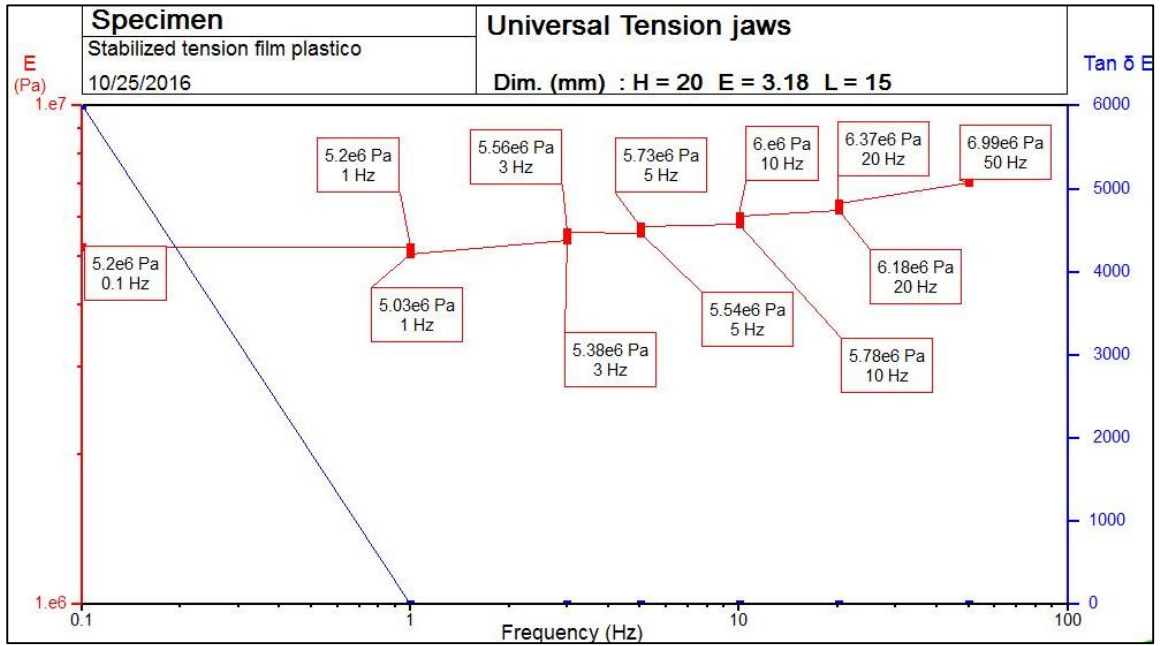
TECNOLOGIA DE LOS PLASTICOS. Blog dedicado a los materiales plásticos, características, usos, fabricación, procesos de transformación y reciclado. Disponible: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/06/propiedades-mecanicas.html> Y <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/06/listado-de-ensayos-normalizados.html>

ANEXOS

ANEXO A.



ANEXO B.



TITULO: PUESTA A PUNTO DE UN ENSAYO DE TRACCION SOBRE MATERIALES PLASTICOS EN LA MAQUINA DMA (DYNAMIC MECHANICAL ANALIZER)

AUTORES: Daniela Bedoya Suaza
Meredith Alexandra Siza López

DIRECTOR: Eduardo Alberto Castañeda Pinzón
Dr. en Ingeniería Civil

MODALIDAD: Investigación

ENTIDADES INTERESADAS: Universidad Industrial de Santander

FIRMAS:

MEREDITH ALEXANDRA SIZA LOPEZ
2103573

DANIELA BEDOYA SUAZA
2093595

EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN
Dr. En Ingeniería Civil

COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
Calificador 1

COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
Calificador 2

FECHA DE APROBACIÓN:
