

**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES
POLIMERICOS COMERCIALES EN COLOMBIA**

**MARCELA GARCIA GONZALEZ
JOSE LUIS RODRIGUEZ ALFONSO**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ADMINISTRACIÓN
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2009

**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES
POLIMERICOS COMERCIALES EN COLOMBIA**

**MARCELA GARCIA GONZALEZ
JOSE LUIS RODRIGUEZ ALFONSO**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
ALFONSO SANTOS JAIMES**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ADMINISTRACIÓN
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2009

Nota de Aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga, Julio del 2009

DEDICATORIA

A Diosito y a la Virgen por haberme guiado e iluminado en cada etapa de mi vida y por haberme puesto en mi camino a todas las personas maravillosas que conocí en mi vida universitaria.

A mis papas Jorge y Nelcy, por su amor, paciencia y apoyo incondicional.

A mi novio, Andrés Santiago, por su amor, comprensión, constante motivación, siendo un ejemplo de vida y por su compañía en todo este proyecto.

A mis hermanos María Cristina y Jorge, por su apoyo y por seguir muy de cerca este proyecto de vida.

Marcela García González

DEDICATORIA

A Dios: Padre, Hijo y Espíritu Santo, por darme la vida, sabiduría y guía.

A mi mama Gloria Nelcy, por su amor incondicional y por mostrarme el camino correcto y que con tenacidad se pueden alcanzar las metas.

A mi tía Luz Nelly, por su apoyo y por todas las oportunidades que me brindo.

A mi novia, Paola Andrea, quien me acompañó en toda la carrera universitaria, compartiendo grandes momentos y recuerdos y brindándome todo su apoyo incondicional.

A mis hermanas Diana Marcela y Deissy Paola, por su compañía y el ánimo brindado en este proceso.

A la Familia Lobo Rojas, por su apoyo en los momentos difíciles y por hacerme sentir siempre como en casa estando lejos de ella.

José Luis Rodríguez

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos profundamente al Ingeniero Alfonso Santos quien con su experiencia, conocimiento y su disposición nos apoyo y nos orientó para superar los obstáculos presentados en el transcurso del tiempo de la elaboración de este proyecto.

A los profesores y amigos de Ingeniería Mecánica.

CONTENIDO

	Pág.
1. OBJETIVOS	18
1.1. OBJETIVO GENERAL	18
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2. MARCO TEORICO.....	19
2.1. POLÍMEROS.....	19
2.1.1. <i>Poliamidas (PA) o Nylon</i>	19
2.1.2. <i>Teflón (PTE)</i>	21
2.1.3. <i>Poliuretano</i>	23
2.1.4. <i>Polietileno</i>	25
2.1.4.1. <i>Polietileno de baja densidad</i>	26
2.1.4.2. <i>Polietileno de alta densidad</i>	27
2.2. ENSAYO DE TRACCIÓN.....	29
2.3. PROPIEDADES MECÁNICAS	30
2.3.1. <i>Porcentaje de reducción de área</i>	30
2.3.2. <i>Porcentaje de Alargamiento</i>	31
2.3.3. <i>Modulo de Young (Elasticidad)</i>	31
2.3.4. <i>Esfuerzo de fluencia</i>	33
2.3.5. <i>Resistencia a la ruptura</i>	34
2.4. NORMA.....	35
2.4.1. <i>ASTM International</i>	35
2.4.2. <i>NORMA ASTM D 638-03</i>	37
3. METODOLOGIA	39
3.1. NUMERO DE PROBETAS.....	39
3.2. MATERIALES SELECCIONADOS.....	39
3.3. DIMENSIONES	40
3.4. FORMA DE LAS PROBETAS	41
3.5. PLANO DE LAS PROBETAS.....	42

3.6. EQUIPOS UTILIZADOS.....	43
3.6.1.1. Máquina Universal Marca Shimadzu Serie UH-500KNI	43
3.6.1.2. Calibrador Digital	47
3.6.2. Ensayo Dinámico	48
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	54
4.1. NYLON.....	56
4.1.1. Promedio del Porcentaje de Reducción de Área del Nylon.....	56
4.1.2. Promedio del Porcentaje de Elongación del Nylon	56
4.1.3. Modulo de Elasticidad del Nylon.....	58
4.1.4. Porcentaje de error del Modulo de elasticidad del Nylon	58
4.1.5. Porcentaje de Error de la Resistencia Máxima del Nylon	58
4.1.6. Análisis del ensayo Dinámico del Nylon.	61
4.2. POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD	64
4.2.1. Promedio de Porcentaje de Reducción de Área del Polietileno de Baja	64
4.2.2. Promedio del Porcentaje de Elongación del Polietileno de Baja	64
4.2.3. Modulo de Elasticidad del Polietileno de Baja Densidad.....	66
4.2.4. Porcentaje de error del Modulo de elasticidad del Polietileno de Baja Densidad	66
4.2.5. Porcentaje de Error de la Resistencia Máxima	67
4.2.6. Análisis del ensayo Dinámico del Polietileno de Baja Densidad.	69
4.3. POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD	72
4.3.1. Promedio de Porcentaje de Reducción de Área del Polietileno de Alta	72
4.3.2. Promedio del Porcentaje de Elongación del Polietileno de Alta	72
4.3.3. Modulo de Elasticidad del Polietileno de alta Densidad	74
4.3.4. Porcentaje de error del Modulo de elasticidad del Polietileno de Alta Densidad	74
4.3.5. Porcentaje de Error de la Resistencia Máxima del Polietileno de Alta Densidad	75
4.3.6. Análisis del ensayo Dinámico del Polietileno de Alta Densidad.	77
4.4. POLIURETANO	80
4.4.1. Promedio de Porcentaje de Reducción de Área del Poliuretano.....	80
4.4.2. Promedio del Porcentaje de Elongación del Poliuretano	80

4.4.3.	<i>Modulo de Elasticidad del Poliuretano.....</i>	82
4.4.4.	<i>Porcentaje de error del Modulo de elasticidad del Poliuretano</i>	82
4.4.5.	<i>Análisis del ensayo Dinámico del Poliuretano.</i>	84
4.5.	TEFLÓN	87
4.5.1.	<i>Promedio de Porcentaje de Reducción de Área del Teflón.....</i>	87
4.5.2.	<i>Promedio del Porcentaje de Elongación del Teflón</i>	87
4.5.3.	<i>Modulo de Elasticidad del Teflón.....</i>	89
4.5.4.	<i>Porcentaje de error del Modulo de elasticidad del Teflón</i>	89
4.5.5.	<i>Porcentaje de Error de la Resistencia Máxima del Teflón.....</i>	90
4.5.6.	<i>Análisis del ensayo Dinámico del Teflón.</i>	92
5.	CONCLUSIONES.....	95
	BIBLIOGRAFIA	97

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de la letra inicial de la norma ASTM.	36
Tabla 2. Clasificación Tipo de Material de la Norma ASTM.	37
Tabla 3. Dimensiones de Especímenes de barra tomada de la norma ASTM D638-03.	40
Tabla 4. Especificación de la Máquina Universal Marca Shimadzu Serie UH-500KNI	43
Tabla 5. Especificaciones del MODAL 50 A EXCITER.	51
Tabla 6. Datos obtenidos del Nylon.	60
Tabla 7. Valor de la Frecuencias Natural Simulada por el software Ansys del Nylon	62
Tabla 8. Frecuencia Natural del ensayo dinámico del Nylon	63
Tabla 9. Datos obtenidos del Polietileno de Baja Densidad	68
Tabla 10. Valor de la Frecuencia Natural Simulada por el Software ANSYS del Polietileno de Baja Densidad.	70
Tabla 11. Frecuencia Natural del Ensayo Dinámico del Polietileno de Baja Densidad	71
Tabla 12. Datos Obtenidos del Polietileno de Alta Densidad	76
Tabla 13. Valor de la Frecuencia Natural Teórica del Polietileno de Alta Densidad.	78
Tabla 14. Frecuencias Natural del Ensayo Dinámico del Polietileno de Alta Densidad.	79
Tabla 15. Datos obtenidos del Poliuretano.	83
Tabla 16. Valor de la Frecuencia Natural Teórica del Poliuretano	85
Tabla 17. Frecuencia Natural del ensayo dinámico experimental del Poliuretano	86
Tabla 18. Datos obtenidos del Teflón.	91
Tabla 19. Valor de la Frecuencia Natural Teórica del Teflón	93
Tabla 20. Frecuencia Natural del ensayo dinámico del Teflón.	94

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura molecular del Nylon.	20
Figura 2. Estructura molecular del Teflón	22
Figura 3. Estructura molecular del poliuretano.....	23
Figura 4. Estructura molecular del polietileno.....	25
Figura 5. Estructura química del polietileno de baja densidad	26
Figura 6. Estructura química del polietileno de alta densidad	28
Figura 7. Máquina Universal.....	29
Figura 8. Gráfica esfuerzo – deformación Unitaria de Polímeros Termoplásticos	30
Figura 9. Gráfica para hallar el límite elástico	32
Figura 10. Gráfica tensión vs Deformación unitaria.....	33
Figura 11. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria, resistencia a la ruptura.....	34
Figura 12. Probeta de tracción representada en el software Solid Edge.....	41
Figura 13. Plano de las probetas	42
Figura 14. Máquina Universal Marca Shimadzu Serie UH-500KNI	46
Figura 15. Ensayo en Proceso de la probeta	47
Figura 16. Probeta fracturada	47
Figura 17. Calibrador digital.....	48
Figura 18. Acelerómetro PCB Piezotronics.....	49
Figura 19. CompacDAQ 9172	49
Figura 20. Shaker (MODAL 50 A EXCITER.)	50
Figura 21. Fuente (MB500VI.).....	52

Figura 22. Ensayo en Proceso del Shaker (MODAL 50 A EXCITER.).....	53
Figura 23. Recopilación de Datos en el Software LABVIEW	53
Figura 24. Gráfica Esfuerzo vs Deformación unitaria del Nylon.....	57
Figura 25. Gráfica Esfuerzo vs Deformación Unitaria del Nylon Promedio	57
Figura 26. Armónico encontrado por la simulación del software ANSYS Workbench 10 para el Nylon.	61
Figura 27. Frecuencia de Respuesta del Nylon del ensayo dinámico en el software LABVIEW	62
Figura 28. Resultado del ensayo dinámico del Nylon	62
Figura 29. Gráfica Esfuerzo vs Deformación unitaria del Polietileno de baja densidad.	65
Figura 30. Gráfica Esfuerzo vs Deformación unitaria del polietileno de baja densidad promedio.....	65
Figura 31. Armónico encontrado por la simulación del software ANSYS Workbench 10 para el Polietileno de Baja Densidad	69
Figura 32. Frecuencia de Respuesta del Polietileno de Baja Densidad del ensayo dinámico en el software LABVIEW	70
Figura 33. Resultado del ensayo dinámico del Polietileno de Baja Densidad.	70
Figura 34. Gráfica Esfuerzo vs Deformación unitaria del polietileno de alta densidad	73
Figura 35. Gráfica Esfuerzo vs Deformación unitaria del polietileno de alta densidad promedio.....	73
Figura 36. Armónico encontrado por la simulación del software ANSYS Workbench 10 para el Polietileno de Alta Densidad	77
Figura 37. Frecuencia de Respuesta del ensayo dinamico del Polietileno de alta Densidad simulada en el software LABVIEW	78
Figura 38. Resultado del ensayo dinámico del Polietileno de alta Densidad	78
Figura 39. Gráfica Esfuerzo vs Deformación unitaria del poliuretano	81

Figura 40. Gráfica Esfuerzo vs Deformación unitaria del poliuretano promedio.....	81
Figura 41. Armónico encontrado por la simulación del software ANSYS Workbench 10, para el Poliuretano.	84
Figura 42. Frecuencia de Respuesta del ensayo dinámico del Poliuretano simulado en el software Labview.	85
Figura 43. Resultado del ensayo dinámico del Poliuretano	86
Figura 44. Gráfica Esfuerzo vs Deformación unitaria del teflón	88
Figura 45. Gráfica Esfuerzo vs Deformación unitaria del teflón promedio.....	88
Figura 46. Armónico encontrado por la simulación del software ANSYS Workbench 10 para el Teflón	92
Figura 47. Frecuencia de Respuesta del ensayo dinámico del Teflón simulado en el software LABVIEW	93
Figura 48. Resultado del ensayo dinámico del Teflón.	93

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO:

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES
POLIMERICOS COMERCIALES EN COLOMBIA

AUTOR(ES):
Marcela García González
José Luis Rodríguez Alfonso

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR(A): Alfonso Santos Jaimes

RESUMEN

Este proyecto fue elaborado con el propósito de informar a los estudiantes de Ingeniería Mecánica, las propiedades mecánicas como los son el Porcentaje de Elongación, Modulo de Elasticidad, Porcentaje de Reducción de Área y Esfuerzo de Fluencia; además de las curvas de esfuerzo-deformación unitaria de algunos polímeros comercialmente encontrados en Santander, para esto se utilizó como base la norma ASTM D-638-03 de características de elasticidad de plásticos. Para la realización de los ensayos se utilizó la máquina Universal de la UPB. El resultado de este proyecto muestra que el Polietileno de baja densidad y de alta densidad, Nylon, Teflón y poliuretano; son materiales dúctiles, tenaces y de baja resistencia Mecánica.

PALABRAS CLAVES:
Propiedades Mecánicas, Polímeros, Norma ASTM D-638-03, Maquina Universal.

ABSTRACT

TITLE:

ESTUDY ABOUT MECHANICALS PROPERTIES OF POLYMERES MATERIALS
IN COLOMBIA

AUTHORS:

Marcela García González
José Luis Rodríguez Alfonso

FACULTY:

Mechanical Engineering

DIRECTOR:

Alfonso Santos Jaimes

SUMARY

This project was developed with the purpose of informing to students of Mechanical Engineering, the mechanical properties of Percent Elongation, elastic modulus, Percent Reduction Effort Area and Creep, in addition to the stress-strain curves of some polymers unit found commercially in Santander, for this resources was used on the basis of ASTM D-638-03 features of elasticity of plastics. For realization of essays was used the Universal machine of UPB. The final answer of this project show that POLYETHYLENE OF LOW DENSITY AND POLYETHYLENE OF HIGH DENSITY, NYLON, and TEFLON AND POLYURETHANE; there are ductile materials, tenacious and low mechanic resistance.

keywords: Mechanics Porpierties, polymers, ASTM D-638-03, Universal Machine

INTRODUCCION

En todos estos años, el desarrollo de estudios sobre las propiedades mecánicas de los materiales poliméricos en Colombia ha sido significativo; cabe destacar que el acceso a los resultados de los estudios de los materiales poliméricos es limitado y los realiza la industria privada. La utilización de los polímeros ha sido fundamental para el desarrollo de la industria en la mayoría de países del mundo. Para llegar a entender la importancia de las propiedades mecánicas de los polímeros, es necesario determinar el Porcentaje de Elongación, Modulo de Elasticidad, Porcentaje de Reducción de Área y Esfuerzo de Fluencia; para que el estudiante de Ingeniería Mecánica logre un alto nivel de conocimiento, en aplicación del uso adecuado de esta clase de materiales.

Adicional a las propiedades mecánicas, es importante determinar las frecuencias naturales de estos polímeros en el software Ansys (El uso del software Ansys le proporciona al Ingeniero Mecánico, un respaldo en el momento del análisis de determinada prueba) y comparar los resultados teóricos mediante el análisis dinámico de cada material, observando los valores de la frecuencia natural y las curvas Amplitud – frecuencia.

La elaboración de este proyecto nació de la necesidad de iniciar la investigación y el desarrollo del semillero de materiales de la Universidad Pontificia Bolivariana en el área de polímeros, teniendo esta información sobre los polímeros comerciales en Bucaramanga, se podrán continuar llevando a cabo otros proyectos de trabajo de grado en el área de materiales poliméricos, para así tomar acciones que fortalezcan la calidad académica en la Universidad Pontificia Bolivariana.

Debido a la necesidad, de la falta de información; se decide estudiar las propiedades mecánicas de los materiales poliméricos encontrados comercialmente en Bucaramanga, determinando el Porcentaje de Elongación, Modulo de Elasticidad, Porcentaje de Reducción de Área y Esfuerzo de Fluencia además de las curvas de esfuerzo-deformación unitaria, analizando los resultados de estos basados en los datos teóricos.

Este proyecto inicia el camino a nuevos proyectos en el área de los materiales, aportando así al crecimiento de la facultad de Ingeniería Mecánica de U.P.B seccional Bucaramanga.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar las propiedades mecánicas del polietileno de alta y baja densidad, Nylon, Teflón y Poliuretano a través de ensayos de tracción en la máquina universal y según la norma ASTM D-638-03 de caracterización de elasticidad de los polímeros; para encontrar el esfuerzo de fluencia, resistencia a la rotura, modulo de elasticidad, porcentaje de alargamiento y de reducción de área de cada uno de estos materiales.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y construir 6 probetas poliméricas para ensayos a tracción, según las especificaciones exigidas por la norma ASTM D-638-03.
- Realizar las curvas esfuerzo – deformación unitaria de ingeniería mediante el uso del software de procesamiento de datos Excel.
- Determinar la resistencia a la fluencia, el porcentaje de elongación, el modulo de elasticidad, el porcentaje de reducción de área y la resistencia máxima mediante las graficas esfuerzo – deformación unitaria promedio de cada polímero.
- Determinar las frecuencias naturales de una barra circular en el software Ansys y corroborar los resultados mediante un análisis dinámico de cada material.

2. MARCO TEORICO

2.1. POLÍMEROS

Los polímeros se producen por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros que forman enormes cadenas de las formas más diversas. Algunas parecen fideos, otras tienen ramificaciones algunas que se asemejan a las escaleras de mano y otras son como redes tridimensionales. Lo que distingue a los polímeros de los materiales constituidos por moléculas de tamaño normal son sus propiedades mecánicas. En general, los polímeros tienen una excelente resistencia mecánica debido a que las grandes cadenas poliméricas se atraen. Las fuerzas de atracción intermoleculares dependen de la composición química del polímero y pueden ser de varias clases.

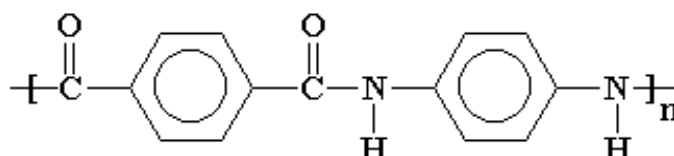
Los polímeros pueden subdividirse en tres o cuatro grupos estructurales; las moléculas de los polímeros lineales consisten en largas cadenas de monómeros unidos por enlaces como las cuentas de un collar. Ejemplos típicos son el polietileno, el alcohol polivinílico y el policloruro de vinilo. (1)

2.1.1. Poliamidas (PA) o Nylon

Polímero que se hila con mucha facilidad en hebras de gran resistencia, descubierto en los laboratorios del complejo químico norteamericano de la Du Pont de Newours en el año de 1930. El Nylon PA 6.6 es la primera poliamida sacada al mercado bajo la marca de Nylona. (2)

En el nailon las cadenas están formadas por polímeros de la fórmula de general $(\text{NH}-\text{C}(=\text{O})-(\text{CH}_2)_n-\text{C}(=\text{O})-\text{NH}-(\text{CH}_2)_m)$, el nailon 6,6 como se observa en la figura 1 es una estructura heterogénea ya que está conformado por C, H, CO, NH. (2)

Figura 1. Estructura molecular del Nylon.



Tomada de: Norma Llinger, Química Orgánica, Capítulo 12, Reverte, México, 1979. pág. 942.

Como plástico, al igual que como fibra (Nylon 6,6), la PA 6,6 se caracteriza por su elevada:

- Resistencia.
- Tenacidad suficiente para soportar impactos accidentales.
- Elasticidad.
- Resistencia a factores ambientales como agua, solventes y reactivos químicos, luz UV y oxígeno.
- Resistencia de abrasión.
- Resistencia al ataque químico.

Estas poliamidas se logran por la poliadición de un producto o la policondensación de dos productos distintos, por eso, su nombre resulta tan complicado con las siglas PA y añadiendo numero de carbonos de que se componen la molécula básica que forma la cadena. Así, la PA 6 es la policaprolactama, ya que la caprolactama tiene 6 carbonos, y la obtenida con la hexametilendimina (6 carbonos) y acido adipico (6 carbonos mas) será la PA 6,6, o simplemente PA 66. Las poliamidas fueron los primeros plásticos que presentaban características mecánicas interesantes; efectivamente, estas se encontraban con resistencias a

la tracción del orden de los 40 a 60 Mpa, cercana a la de algunos metales no férricos. Además presentaban una estructura tal que su rozamiento era muy bajo, no necesitando aceites o lubricante en piezas que habían de deslizarse entre sí o contra metales. (2)

Las poliamidas son utilizadas en la fabricación de piezas del tipo de engranajes, cojinetes, recubrimiento de piezas metálicas, cremalleras (tanto las mecánicas como las de la ropa), palas de ventiladores industriales y en automoción, carcasas de pequeña maquinaria, bombas, bobinas, tornillería, piezas del automóvil, etc.

Como todo material las poliamidas presentan una gran desventaja, poseen higroscopicidad (Propiedad de algunas sustancias de absorber y exhalar la humedad según el medio en que se encuentran). Según el tipo presentan una cierta admisión de agua en su estructura, que en algunos casos alcanza un 11% influenciando así sus propiedades mecánicas, y también afecta sensiblemente a su estabilidad dimensional (es decir la pieza se hincha). Por otro lado se obliga a hacer procesos de secado previo muy serios para eliminar totalmente esta agua antes de realizar el moldeo. (2)

2.1.2. Teflón (PTE)

Es un polímero similar al polietileno, donde los átomos de hidrogeno han sido sustituidos por átomos flúor. Es uno de los materiales más resistentes químicamente que se conocen, pues solamente es atacado por productos como el sodio fundido o el flúor. El teflón posee las siguientes características: (2)

- Prácticamente es un material inerte.
- No reacciona con otras sustancias químicas excepto en situaciones muy especiales.
- Posee el Coeficiente de rozamiento más bajo.
- Es impermeable.

- Es un gran aislante térmico.
- No se altera por la acción de la luz.
- Soporta temperaturas desde 270°C hasta 300°C
- Cualidad principal es la anti adherencia.

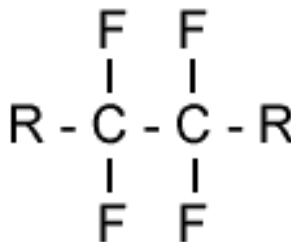
El conjunto de sus características es tal que tiene muchas y diversas aplicaciones:

- Recubrimiento en un sartén (como antiadherente).
- Recubrimiento en un reactor nuclear.
- Cojinete diminuto de un cuentakilómetros.
- Válvula cardiaca.
- Piezas en un satélite.

A pesar de tratarse de un termoplástico, no puede moldearse, ya que su viscosidad en fundido es tan alta que no puede moverse la masa en las maquinas. El único proceso de obtener piezas es el presando en frio del polímero en polvo, después sintetizar el bloque y recurrir a la posterior mecanización.

La fórmula química del monómero, tetrafluoretileno, es $\text{CF}_2=\text{CF}_2$, como se muestra en la figura 2. (2)

Figura 2. Estructura molecular del Teflón



Tomada de: Wikipedia, politetrafluoretileno (PTFE): <http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:PTFE-3D-vdW.png>

Lo anterior, lo convierte en uno de los plásticos más caros, no solo como materia prima sino también en su moldeo o transformación, por eso se recurre a él, únicamente cuando en realidad es necesario; es parte esencial de todas las

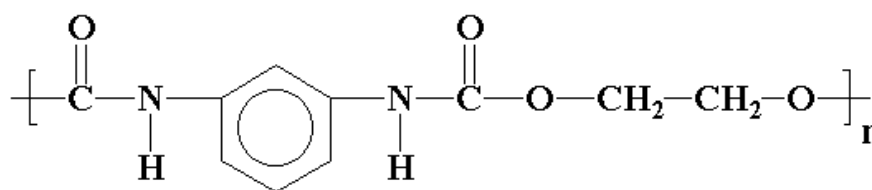
plantas químicas, aeronaves y satélites, equipos de comunicación (radiotelefonía, televisión, etc.), equipos médicos y quirúrgicos, instrumentos de control de procesos, etc. (2)

2.1.3. Poliuretano

Los poliuretanos son una rama de polímeros con características diversas, pero normalmente se engloban bajo el mismo nombre genérico de poliuretanos, con las siglas PUR.

Según los productos de inicio, sus proporciones y las condiciones de polimerización, se obtiene un producto final termoplástico o considerar a los PUR como el eslabón que encadena plásticos y cauchos, pudiendo figurar en ambos lados. Los poliuretanos se caracterizan por tener cadenas poliméricas entrecruzadas, formando una red tridimensional que no funde. Esto los diferencia de los polímeros termoplásticos. Además los poliuretanos polimerizan irreversiblemente con calor o presión formando una masa rígida y dura; como se muestra en la figura 3. (3)

Figura 3. Estructura molecular del poliuretano



Tomada de: La escuela técnica superior de ingenieros industriales de Valladolid, estructura química del poliuretano: www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/PU/paginas/estructura.htm.

Un poliuretano puede ser cualquier polímero que contenga un enlace uretano en su cadena principal. Principalmente son de carácter termoestable. Los productos de inicio son isocianato (por ejemplo, el toluen o diisocianato TDI o el metileno-bis 4 fenilendiisocianato MDI) y un poliol (En el Poliol que es una mezcla

cuidadosamente formulada y balanceada de glicoles, alcoholes de elevado peso molecular. Se encuentran en mezcla con agentes espumantes y otros aditivos tales como aminas, agentes siliconados, agua, propelentes y catalizadores organometálicos que son lo que le dan las características a la espuma final. La apariencia es como miel viscosa y puede tener un fuerte olor amoniacal.) de tipo poliéster o poliéter. La reacción de polimerización es generalmente muy rápida y al ser en fase líquida, permite el moldeo de la propia reacción. (3)

Los poliuretanos poseen características muy variables:

- Presentan buena resistencia mecánica.
- Buena Tenacidad.
- Alta resistencia a la abrasión.
- Resisten bajas temperaturas.

Estos se utilizan para aislamientos térmicos y acústicos en edificios, vehículos, instalaciones frigoríficas; etc. Se comercializan en paneles prefabricados, o bien, puede inyectarse directamente el polioli y el isocianato en el interior del molde. Sus densidades oscilan entre 30 y 1300 kg/m³. (3)

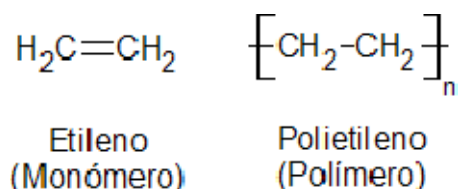
Los poliuretanos son adhesivos bicomponentes, aunque existe una variedad de mono componentes elásticos de curado con calor e incluso en temperatura ambiente en presencia de aire. Su principal aplicación radica en el pegado de perfiles plásticos o metálicos entre los que se requiera una unión relativamente elástica, con suficiente superficie de pegado, y que pueda soportar vibraciones. Son adhesivos que permiten adherir superficies porosas o irregulares entre las que deba hacerse una función de llenado o acoplamiento. Estos adhesivos trabajan bien desde bajas temperaturas hasta unos 80°C, pero no poseen elevada resistencia química o frente a radiaciones tales como ultravioletas. (3)

2.1.4. Polietileno

Es el termoplástico más usado actualmente; se trata de un plástico barato que puede moldearse muy fácilmente y extruirse para hacer fibras o soplarse para formar películas delgadas.

Este pertenece al grupo de los polímeros poliolefinas. Estas provienen de hidrocarburos simples, compuestos por átomos de carbono e hidrógeno y con dobles enlaces de carbono/carbono (C=C), como lo muestra en la figura 4. (4)

Figura 4. Estructura molecular del polietileno



Tomada de: Grupo plástico nova, polietileno: http://www.gpnova.com/preguntas/que_es_polie.pdf

Como se ha dicho anteriormente, las moléculas poliméricas son muy largas, por lo que se denominan macromoléculas. Los polietilenos comerciales están conformados por una cantidad del orden de 10^4 monómeros de etileno; por lo que resulta bastante tedioso dibujar o escribir la fórmula química completa, se simplifica la fórmula de las estructuras poliméricas escribiendo la estructura del monómero base encerrada entre corchetes y con el subíndice n para indicar que se repite muchas veces. (4)

El polietileno se produce por primera vez en los laboratorios Imperial Chemical Industries, Ltd. (ICI) en Inglaterra, en un experimento casual en el que el etileno (y otras sustancias químicas que permanecieron inertes) fue sometido a 1400 atm de presión a 170 °C. Donde trazas de oxígeno permitieron que tuviera lugar la polimerización. (4)

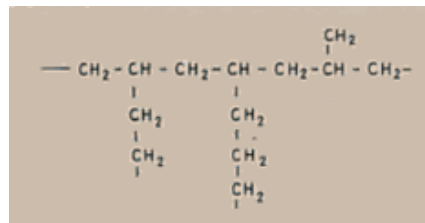
Los polietilenos se pueden clasificar por su:

- Densidad
- Contenido de monómeros
- Peso molecular
- Distribución del peso molecular
- Índice de fluidez
- Modificación

2.1.4.1. Polietileno de baja densidad

Es un homopolímero muy ramificado que tiene por unidad monomérica el etileno. Se obtiene a partir del etileno gaseoso, muy puro, se polimeriza en presencia de un iniciador (peróxido de benzoilo, azodi-isobutironitrilo u oxígeno), a presiones de 1,000 a 3,000 atm y temperaturas de 100 a 300°C. Como se observa en la figura 5 el polietileno de baja densidad tiene una estructura de cadena enramada. (3)

Figura 5. Estructura química del polietileno de baja densidad



Tomada de: Luis Bilurbina y Francisco Liesa, Materiales no metálicos resistentes a la corrosión, Capítulo 2, Marcombo, 1990.pág.24.

El polietileno de baja es un polímero que se caracteriza por:

- Buena resistencia térmica y química
- Buena resistencia al impacto
- Es translúcido
- Muy buena procesabilidad, es decir, se puede procesar por los métodos de conformados empleados para los termoplásticos, como inyección y extrusión.
- Es más flexible que el polietileno de alta densidad
- Presenta dificultades para imprimir, pintar o pegar sobre él.¹

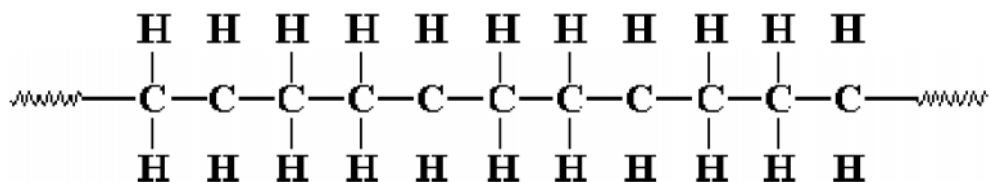
El polietileno de baja densidad (LDPE) se utiliza para fabricar bolsas flexibles para los usos más diversos. Su inercia química y mínima aditivación lo hacen muy apreciado para infinidad de artículos domésticos e industriales en los que interesa una cierta flexibilidad. Gracias a su buena resistencia dieléctrica, frente a las altas frecuencias, se utiliza como aislante para cables de este tipo (como lo cables de conexión de la antena de los televisores). (3)

2.1.4.2. Polietileno de alta densidad

Es un homopolímero con estructura lineal con pocas ramificaciones, que además son muy cortas, el análisis del polietileno (C, 85.7%; H, 14.3%); como se muestra en la figura 6, corresponde a la fórmula empírica $(CH_2)_n$ resultante de la polimerización por adición del etileno. (4)

¹ Fuente: Quiminet, polímeros: www.quiminet.com.mx

Figura 6. Estructura química del polietileno de alta densidad



Tomada de: Primo Yúfera, Química orgánica básica y aplicada de la molécula a la industria, Capítulo 1, Reverte, Valencia, 1996. pág. 14.

Se utilizan procesos de baja presión para su obtención y los catalizadores utilizados son los de Ziegler - Natta (compuestos organometálicos de aluminio y titanio). La reacción se lleva a cabo en condiciones de 1 a 100 kg/cm² de presión y temperatura de 25 a 100 °C. La polimerización puede ser en suspensión o fase gaseosa. (4)

El polietileno de alta densidad es un polímero que se caracteriza por:

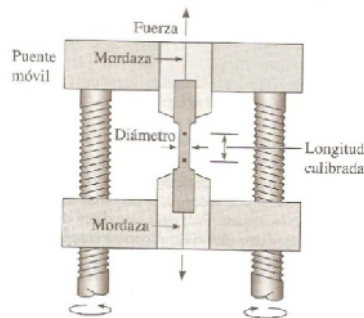
- Excelente resistencia térmica y química
- Muy buena resistencia al impacto
- Muy buena procesabilidad, es decir, se puede procesar por los métodos de conformado empleados para los termoplásticos, como inyección y extrusión
- Es flexible, aún a bajas temperaturas
- Es más rígido que el polietileno de baja densidad²

² Op, cit,p20.

2.2. ENSAYO DE TRACCIÓN

Este ensayo se realiza para evaluar la resistencia de los materiales en una fuerza estática o aplicada lentamente. Las velocidades de deformación en un ensayo de tensión son pequeñas ($\dot{\epsilon} = 10^{-4} - 10^{-2} s^{-1}$). En la figura 7 se muestra un arreglo de un ensayo, se calibra una muestra y se coloca en una maquina de prueba y se aplica una fuerza llamada carga. La figura 7 es el referente a una máquina universal de pruebas, en la que se pueden ejecutar tensión y compresión. (4)

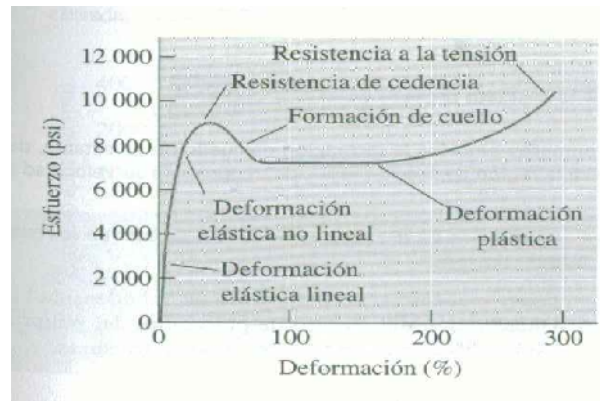
Figura 7. Máquina Universal



Tomada de: Askeland, Donald R, Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Capítulo 6, Thomson-Paraninfo, México, 2005. pág. 222.

La fuerza se aplica en sentido del eje de esta por eso se denomina axial, la probeta se alarga en sentido de su longitud y se encogerá en dirección al plano perpendicular. Además el esfuerzo y la deformación ocurren simultáneamente en el ensayo, estos dos conceptos son totalmente distintos. Si a todos los valores de la carga aplicados progresivamente se dividen por el área inicial de la probeta, de esta se obtendrán los diferentes valores del esfuerzo convencional o nominal aplicados y si los valores observados y medidos se dividen en la longitud inicial de la prueba, se obtendrán los valores de la deformación convencional o nominal. Partiendo de allí se puede representar los diferentes valores en un diagrama esfuerzo vs deformación. Véase la figura 8. (4)

Figura 8. Gráfica esfuerzo – deformación Unitaria de Polímeros Termoplásticos



Tomada de: Askeland, Donald R, Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Capitulo , Thomson-Paraninfo, México, 2006. pag 222.

2.3. PROPIEDADES MECÁNICAS

2.3.1. Porcentaje de reducción de área

En esta propiedad se describe cuanto es la reducción que sufre la pieza, durante el ensayo en el punto donde va a producirse la fractura como se muestra en la ecuación 1:

$$\text{Porcentaje de Reduccion de Area} = \frac{A_F - A_0}{A_0} \cdot 100\% \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde A_0 es el área transversal inicial y A_F es el área transversal final en la superficie de la fractura. (4) (5)

2.3.2. Porcentaje de Alargamiento

En esta propiedad se describe la deformación plástica permanente antes de que se produzca la falla como se describe en la ecuación 2; es decir, no se incluye la deformación plástica que desaparece después de la fractura.

$$\text{Porcentaje de Alargamiento} = \frac{l_f - l_0}{l_0} \cdot 100\% \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde l_0 es la distancia inicial entre las marcas de calibración y l_f es la distancia final entre las marcas después de la ruptura de la pieza o espécimen.

Estas propiedades hacen parte de la ductilidad del material, las cuales se relacionan con la capacidad de éste para absorber energía antes de llegar a la rotura. (4)

2.3.3. Modulo de Young (Elasticidad)

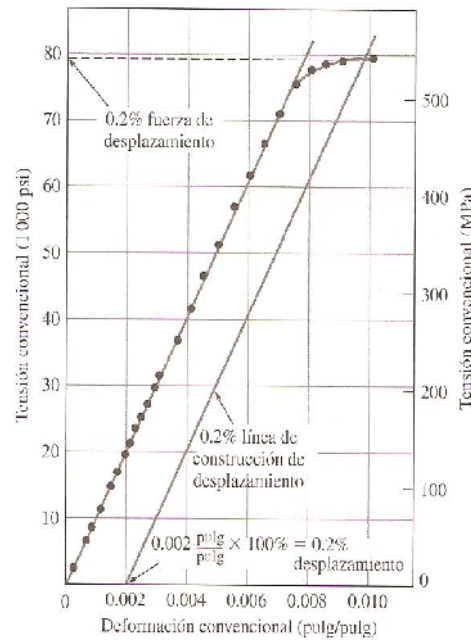
En el ensayo de tracción, en la primera parte de este, el material se deforma elásticamente, esto quiere decir, que si la fuerza aplicada que actúa sobre el material desaparece, la probeta volverá a su estado inicial.

La curva esfuerzo-deformación unitaria en la región elástica, está relacionada con la Ley de Hooke:

$$E = \frac{\sigma (\text{Esfuerzo})}{\varepsilon (\text{Deformacion})} \quad \text{Ecuación 3}$$

Como no se encuentra un punto definido en la curva esfuerzo-deformación unitaria, donde termina la deformación elástica y comienza la deformación plástica, se define el límite elástico con lo cual se produce una deformación elástica definida. (4) (5)

Figura 9. Gráfica para hallar el límite elástico

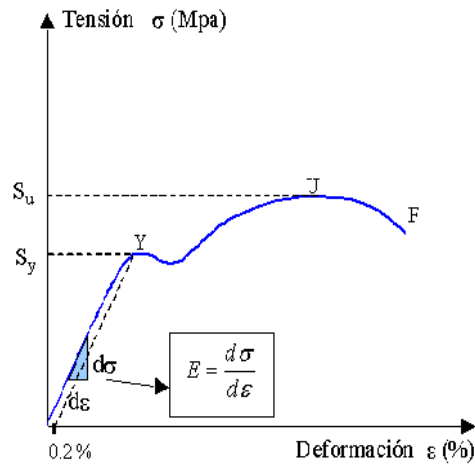


Tomada de: William F. Smith, Javad Hashemi, Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales, Capítulo 6, Mc Graw Hill, México, 2006. pág. 222.

La mayoría de las veces se halla el límite elástico en el momento que se produce una deformación del 0,2%, como se muestra en la figura 9.

Primero se traza una línea paralela a la zona elástica (lineal), a una deformación de 0,002 pulg./pulg. (m./m.), como se indica en la figura 9, luego se traza una línea horizontal, donde se intersecan, la línea paralela con la curva de esfuerzo-deformación. El valor del límite elástico de 0,2 %, es donde se interseca la línea horizontal (ver figura 10), con la curva de tensión-deformación. (4) (5)

Figura 10. Gráfica tensión vs Deformación unitaria



Tomada de: Universidad Jaume, modulo de elasticidad:

http://www.emc.uji.es/d/mecapedia/images/modulo_de_elasticidad.2.gif

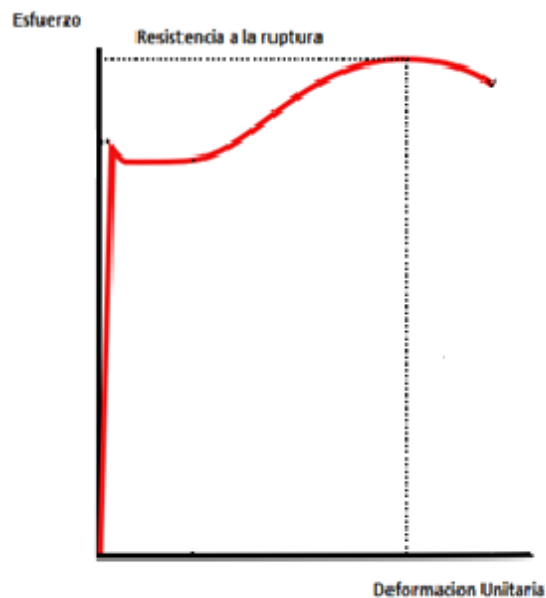
2.3.4. Esfuerzo de fluencia

Se denomina esfuerzo de fluencia al menor valor del esfuerzo para el cual se produce una deformación permanente o deformación plástica. Se llama fluencia convencional al valor del esfuerzo para una deformación permanente del 0.2%. Este se puede determinar utilizando el área original de la sección transversal de la probeta y en algunos casos se halla como el área bajo la curva del esfuerzo vs deformación unitaria. (4) (5)

2.3.5. Resistencia a la ruptura

La resistencia a la ruptura es el valor del esfuerzo máximo, es decir el mayor valor del esfuerzo en la curva, esfuerzo vs deformación unitaria en el cual se produce la fractura de la probeta, una vez se supere este máximo valor, la probeta fallará. Esta se determina dibujando una línea horizontal desde el punto máximo de la curva esfuerzo-deformación unitaria hasta el eje de las tensiones. Ver figura 11 (5)

Figura 11. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria, resistencia a la ruptura



Por: Marcela García y José Rodríguez

2.4. NORMA

Una norma es un documento que ha sido desarrollado y establecido dentro de los principios de consenso de la organización a la cual pertenece la norma, y que cumple los requisitos de los procedimientos y regulaciones de esta. Las normas elaboradas por consenso se elaboran con la participación de todas las partes que tienen intereses en el desarrollo o uso de las normas.³

2.4.1. ASTM International

Creada en 1898, ASTM International es una de las mayores organizaciones en el mundo que desarrollan normas voluntarias por consenso. ASTM es una organización sin ánimo de lucro, que brinda un foro para el desarrollo y publicación de normas voluntarias por consenso, aplicables a los materiales, productos, sistemas y servicios. Los miembros de ASTM, que representan a productores, usuarios, consumidores, el gobierno y el mundo académico de más de 100 países, desarrollan documentos técnicos que son la base para la fabricación, gestión y adquisición, y para la elaboración de códigos y regulaciones.

La norma ASTM se publica bajo designación fija, la primera letra con la cual se designa la norma significa el tipo de prueba, como se muestra en la tabla 1; los dos primeros números después de la letra, indica el año de la adopción general o el último año de la revisión; el número que le sigue al año de la adopción de la norma significa la clase de material, como se observa en la tabla 2; el número en paréntesis indica el año de la última reprobación; es decir para el caso de la norma que se utiliza en el proyecto, la D 638-(03); la letra D significa que es un ensayo de tensión y de compresión, el número 63 indica el año en que se publicó la norma; el

³ Tomada de: Asociación americana de ensayos de materiales, definición de normas:
www.astm.org/FAQ/whatisastmspanish_answers

numero 8 el tipo de material que es plástico, y el numero 03 en paréntesis el último año de reprobación.

Tabla 1. Clasificación de la letra inicial de la norma ASTM.

LETRA	TIPO DE PRUEBA
A	Resistencia al Envejecimiento
B	Compresión SET
C	Ozono o Resistencia a la Humedad
D	Resistencia a Tensión y Compresión
EA	Resistencia Fluidos (Acuosos)
EF	Resistencia Fluidos (Combustibles)
EO	Resistencia a Fluidos (Aceite-Lubricantes)
F	Resistencia a Bajas Temperaturas
G	Resistencia al Desgarre
H	Resistencia a la Flexión
J	Resistencia a la Abrasión
K	Adhesión
M	Resistencia a la Flamabilidad
N	Resistencia al Impacto
P	Resistencia al Staining
R	Resiliencia
Z	Cualquier Requerimiento Especial

Por: Marcela García y José Rodríguez.

Tabla 2. Clasificación Tipo de Material de la Norma ASTM.

NUMERO	MATERIAL
1	Iron and Steel Products (Hierro y Acero)
2	Nonferrous Metal Products (Metales No Férreos)
3	Metals Test Methods and Analytical Procedures (Ensayo de Metales y Procedimientos Analíticos)
4	Construction (Construcción)
5	Petroleum Products, Lubricants, and Fossil Fuels (Petróleo, lubricantes y Combustibles)
6	Paints, Related Coatings, and Aromatics (Pintura, Revestimiento y Aromáticos)
7	Textiles (Textiles)
8	Plastics (Plásticos)
9	Rubber (Caucho)
10	Electrical Insulation and Electronics (Aislantes Eléctricos y Electrónicos)
11	Water and Environmental Technology (Agua y Tecnología Ambiental)
12	Nuclear, Solar, and Geothermal Energy (Energía Nuclear, Solar y Geotérmica)
13	Medical Devices and Services (Dispositivos Médicos y Servicios)
14	General Methods and Instrumentation (Métodos Generales e Instrumentación)
15	General Products, Chemical Specialties, and End Use Products (Productos Generales, Especialidades Químicas y terminados del uso de productos)

Por: Marcela García y José Rodríguez.

Estos miembros pertenecen a uno o más comités, cada uno de los cuales cubre un área temática, como por ejemplo acero, petróleo, dispositivos médicos, gestión de la propiedad, productos para el consumidor, y muchos más. Estos comités desarrollan más de las 11,000 normas ASTM que se pueden encontrar en el Annual Book of ASTM Standards, de 77 volúmenes.⁴

2.4.2. NORMA ASTM D 638-03

La norma ASTM D 638-03, es utilizada para hallar las características elásticas de plásticos no reforzados y plásticos reforzados. En esta se habla del método que se debe utilizar, para realizar las pruebas de los especímenes en la máquina de

⁴ Op,cit,p28

prueba; de forma tal que indica, las medidas que se deben tener en cuenta en la realización del espécimen, los pasos y los diferentes datos que se deben introducir en la maquina en el momento de realizar las pruebas. Después de realizada la prueba, se obtienen datos de los cuales la misma norma hace una guía, para la obtención de las diferentes propiedades mecánicas de los polímeros. Como los son la forma de especímenes estándar de forma de pesa cuando son probados bajo condiciones definidas de tratamiento previo, como la temperatura, humedad, y la velocidad de prueba de la máquina.

Este método de prueba puede ser utilizado para probar materiales de cualquier grosor hasta 14 mm. [0.55 in]. Materiales con un grosor mayor a 14 mm [0.55 in] deben ser reducidos por maquinado.

Este método de prueba incluye la opción de determinar el cociente Poisson a la temperatura del recinto. Es la responsabilidad del usuario de esta norma establecer las prácticas apropiadas de seguridad y de salud y determinar la aplicabilidad de limitaciones reguladoras antes del uso.⁵

⁵ Op,cit,p28

3. METODOLOGIA

Para la realización de las curvas esfuerzo-deformación unitaria se tomó como referencia la norma ASTM D638-03, esta sugiere las dimensiones que se deben tener en cuenta para la fabricación de las probetas y también el número de probetas para la realización de los ensayos.

3.1. NUMERO DE PROBETAS

La norma menciona como mínimo 5 probetas para la ejecución de las pruebas, en el desarrollo del proyecto “Estudio de las propiedades mecánicas de materiales poliméricos comerciales en Colombia”; se decidió iniciar los ensayos con la selección de 6 probetas por cada material de la rama de los polímeros; tomando una probeta de más de la mínima sugerida por la norma ASTM D 638-03.

3.2. MATERIALES SELECCIONADOS

Los materiales poliméricos elegidos para la realización del proyecto fueron: Nylon, Poliuretano, Teflón, Polietileno de Alta densidad y Polietileno de Baja densidad. Estos fueron seleccionados de acuerdo a un previo sondeo de los materiales poliméricos que se encuentran disponibles en Bucaramanga y su área metropolitana, el resultado de este sondeo fue que los materiales de mayor acceso fueron el Nylon, Poliuretano, Teflón, Polietileno de Alta densidad y Polietileno de Baja densidad; todos estos se encontraron en forma circular.

3.3. DIMENSIONES

Se seleccionó la dimensiones que aparecen en la tabla 1 debido a que estas medidas eran las más económicas para la financiación ya que en el mercado se encontraba la barra en la medida de $\frac{3}{4}$ de pulgada; si se quería otra medida de las que aparecen en la tabla 3, se incrementaban los costos porque es necesario la construcción de un molde específico para la medida que fuese necesaria o maquinar la barra a las dimensiones requeridas.

Tabla 3. Dimensiones de Especímenes de barra tomada de la norma ASTM D638-03

Diámetro nominal	Longitud Radial, 2R.S	Cálculo Total de la Mínima Longitud del Especimen	Longitud Estándar, L, de Especimen a ser Usado para 89-mm [31/2-in] Quijadas ^A
3.2 [1/8]	19.6 [0.773]	356 [14.02]	381 [15]
4.7 [1/16]	24.0 [0.946]	361 [14.20]	381 [15]
6.4 [1/4]	27.7 [1.091]	364 [14.34]	381 [15]
9.5 [3/8]	33.9 [1.333]	370 [14.58]	381 [15]
12.7 [1/2]	39.0 [1.536]	376 [14.79]	400 [15.75]
15.9 [5/8]	43.5 [1.714]	380 [14.96]	400 [15.75]
19.0 [3/4]	47.6 [1.873]	384 [15.12]	400 [15.75]
22.2 [7/8]	51.5 [2.019]	388 [15.27]	400 [15.75]
25.4 [1]	54.7 [2.154]	391 [15.40]	419 [16.5]
31.8 [1 1/4]	60.9 [2.398]	398 [15.65]	419 [16.5]
38.1 [1 1/2]	66.4 [2.615]	403 [15.87]	419 [16.5]
42.5 [1 3/4]	71.4 [2.812]	408 [16.06]	419 [16.5]
50.8 [2]	76.0 [2.993]	412 [16.24]	432 [17]

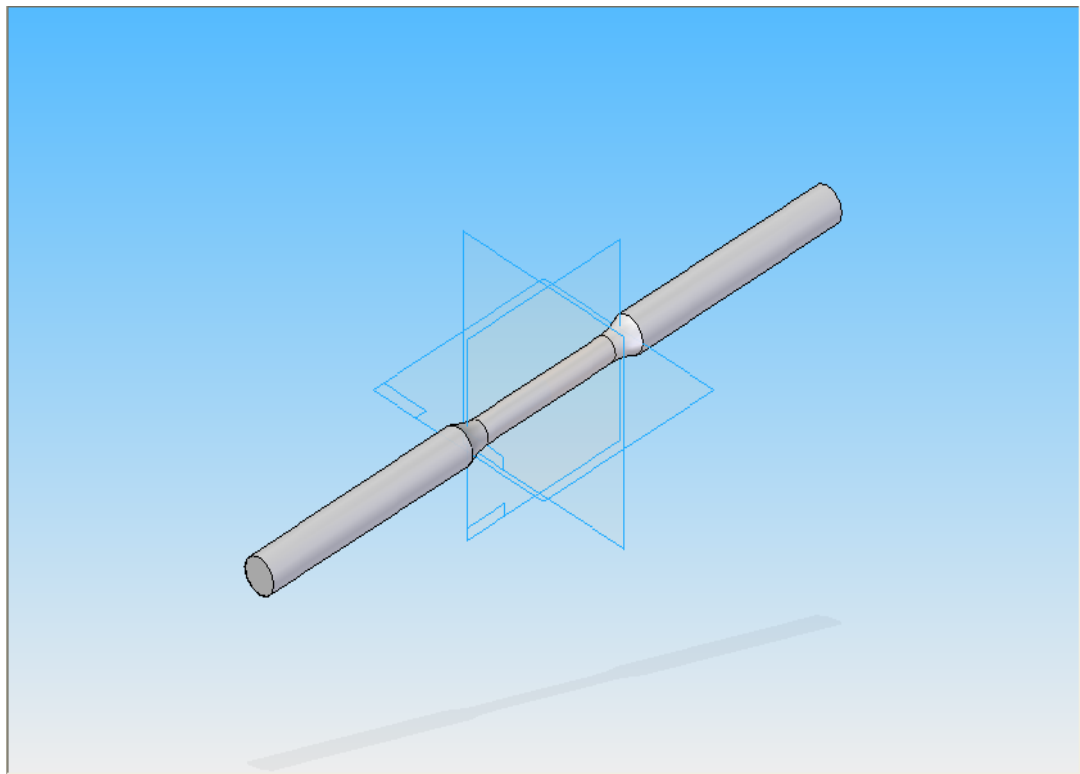
Fuente: Norma ASTM D 638-03

^A Para otras quijadas mayores a 89 mm [3.5 in], la longitud estándar será incrementada en dos veces la longitud de las quijadas menos 178 mm [7 in.]. La longitud estándar permite un resbalamiento de aproximadamente 6.4 a 12.7 mm [0.25 a 0.50 in.] en cada quijada mientras se mantiene la longitud máxima del agarre de la quijada.

3.4. FORMA DE LAS PROBETAS

La probeta se construyo de forma circular con una reducción de diámetro en su zona central denomina longitud calibrada, esta longitud se obtiene para obtener un ensayo más exacto, sus extremidades son de mayor sección para facilitar la fijación de la probeta a la Máquina Universal como se muestra en la Figura 12, debido a que la norma recomendaba dos clases de probetas, la probeta plana y la probeta circular; los proponentes se rigieron por la circular.

Figura 12. Probeta de tracción representada en el software Solid Edge

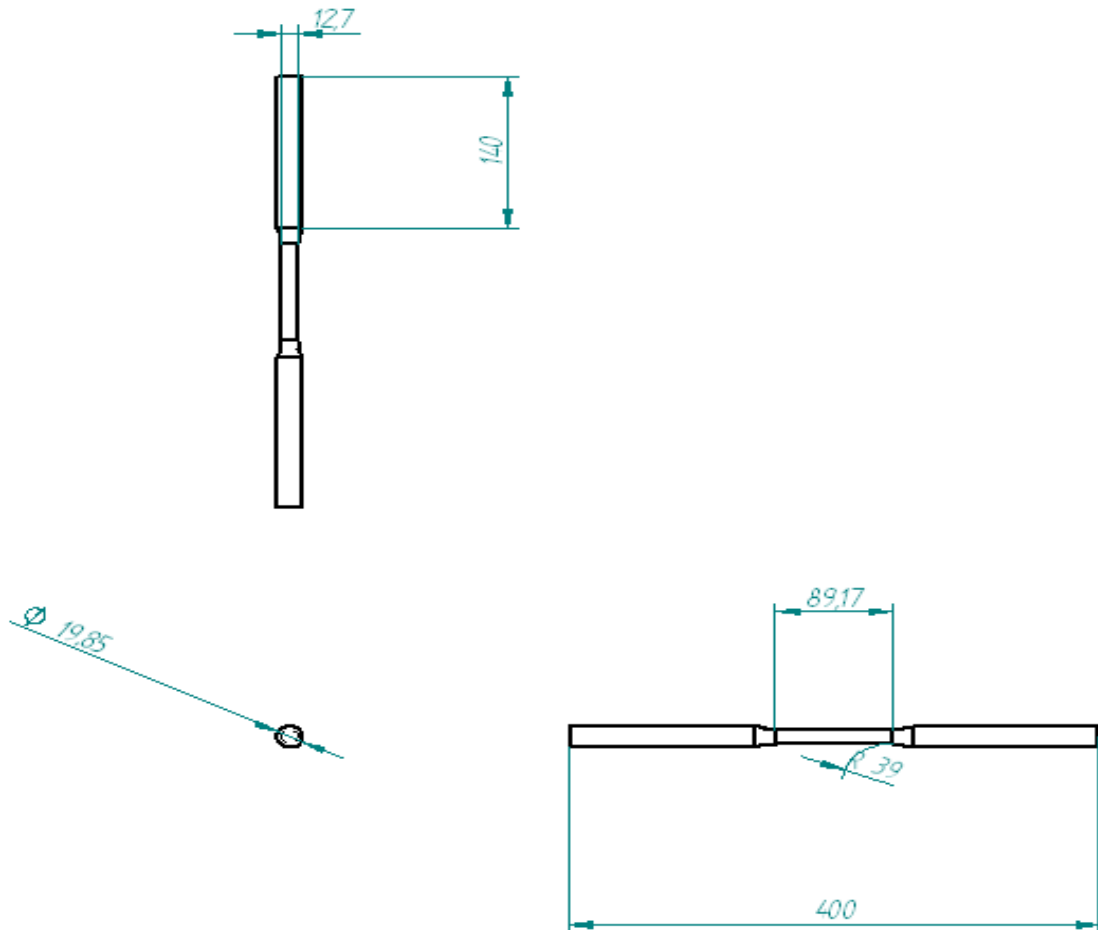


Por: Marcela García y José Rodríguez

3.5. PLANO DE LAS PROBETAS

En la Figura 13 se observa la probeta con su forma y sus respectivas dimensiones, donde sus unidades corresponden a (mm). El diámetro exterior de la probeta es de 19,05 (mm); ya que es el inicial de la barra, en su sección más reducida el diámetro y el radio de curvatura es de 12,7 (mm), 39° respectivamente como lo indica Norma ASTM D 638-03.

Figura 13. Plano de las probetas



Por: Marcela García y José Rodríguez

3.6. EQUIPOS UTILIZADOS

3.6.1. Ensayo estático

3.6.1.1. Máquina Universal Marca Shimadzu Serie UH-500KNI

En ingeniería se denomina máquina universal a una máquina semejante a una prensa con la que es posible someter materiales a ensayos de tracción y compresión para medir sus propiedades. La presión que ejerce la maquina se logra mediante placas o mandíbulas accionadas por tornillos o un sistema hidráulico. Esta máquina es ampliamente utilizada en la caracterización de nuevos materiales. Así por ejemplo, se ha utilizado en la medición de las propiedades de tensión de los polímeros.

Tabla 4. Especificación de la Máquina Universal Marca Shimadzu Serie UH-500KNI

SI unit	TIPO	UH 500 KNI
	PARTE No	346-43053
CAPACIDAD		
CAPACIDAD MAXIMA		500kN (50tf,112500Lbf)
EXTENSION DE FUERZA (6 PASOS)		500/250/100/50/25/10kN
ESPECIFICACIONES		
ENSAYO TENSIL	Max. Extensión de agarre (mm)	900
	Medida de las mordazas para probetas redondas (mm)	ø12~50 En línea
	Medida de las mordazas para probetas planas (mm)	0~45 (60 de ancho)
ENSAYO DE COMPRESION	Max. Compresión de agarre de lamina (mm)	800
	Compresión del tamaño de la lamina	ø120
ENSAYO TRANSVERSAL	Max. Agarre soportado (mm)	600
	Diámetro soportado x ancho (mm)	50 x 160
	Radio de la punta perforado (mm)	25

	Perforado del ancho (mm)	160
VELOCIDAD DE CARGA (60 Hz)	Capacidad del motor (3 fases)	80 max. 1.5kW
CARRERA	(mm)	250
VELOCIDAD DE ELEVACION (60 Hz)	Aproximadamente (mm/mim) Capacidad del motor (3 fases)	450 750W
AGARRE POSTERIOR	(mm)	650
TABLA DE DIMENSIONES EFECTIVAS (ANCHO X PROFUNDIDAD)	(mm)	650 x 650
CAPACIDAD DE LA POTENCIA SUMINISTRADA (3 FASES, 200/220 V,50/60 HZ)	Aproximadamente	4kVA
CAPACIDAD DEL INTERRUPTOR AUTOMATICO RECOMENDADA (3 FASES, 200/220 V,50/60 HZ)		20 A
ENSAYO DEL TAMAÑO DE LA MAQUINA (ancho x profundidad x longitud)	Ensayo de la maquina (mm)	960 x 650 x 2400
	Control de la unidad de medición (mm)	700 x 800 x 1070
ENSAYO DEL PESO DE LA MAQUINA (ancho x profundidad x longitud)	Ensayo de la maquina (kg)	1700
	Control de la unidad de medición (kg)	125

UNIDAD DE CONTROL Y MEDICION

METODO DE CARGA	El computador controla el sistema electro-hidráulico
MEDICION DE FUERZA	Método La presión del cilindro interno mide con alta precisión la presión de la celda.
	Tipo de precisión estándar Entre $\pm 1.0\%$ del valor indicado (cuando la carga es 1/5 o mas de la escala total por cada fuerza recorrida)
	Tipo de alta precisión Entre $\pm 0.5\%$ del valor indicado (cuando la carga es 1/5 o más de la escala total por cada fuerza recorrida)
	Aumento x1, x2, x5, x10, x20 y x50 (6 pasos)
PANTALLA	Unidad de operación Pantalla digital

	Resolución de la pantalla: 1/2000 (300 kN/600 kN/3000 kN: 1/3000) Unidad de la pantalla: N, kN, kgf, tf, lbf
	Indicador Análogo Pantalla análoga Escala del diámetro de la lamina: 450 mm Escala mínima: 1/1000 (300 kN/600 kN/3000 kN: 1/600) Pantalla Digital Resolución de la pantalla: 1/2000 (300 kN/600 kN/3000 kN: 1/3000) Unidad de la pantalla: kN
PANTALLA DE MEDICION DE LA CARRERA	Medición con codificador óptico. Completamente cerrado el bucle de la carga automática.
CONTROL AUTOMATICO DE CARGA	Método Pantalla digital (resolución de la pantalla: 0.1 mm)
	Ensayo del control de funciones Ensayo de control sencillo, ensayo de control del ciclo (señal triangular, señal trapezoidal), ensayo del esfuerzo de tensión (ensayo tensil del metal), ensayo tensil con alta temperatura, Velocidad del golpe 3 pasos del control de interrupción. Rango Memoria del control del golpe Velocidad del rango: 0.5 mm/min (0.02 in /min) a Max. Velocidad de carga *2 Control del rango: Desde la memoria del punto del retorno hasta el punto máximo de la memoria del golpe. Control de Fuerza Velocidad del rango: 0.1 a 5.0 de la escala max/min. Control del rango: 5 a 100% de la escala máxima de la carga Control de Tensión Velocidad del rango: 0.1 a 80% del min. Control del rango: 5 a 100% de la escala máxima de elongación.
INTERFACE DE ENTRADA/SALIDA	Entrada análoga interna: 2 canales Salida análoga externa: 2 canales Salida de grabado: RS-232C interface
FUNCIONES ESTANDARES	Función de inicio en cero, función de auto calibración, detector de función de parada, auto arranque en el encendido, función de auto retorno, pantalla con el valor de la fuerza.
DISPOSITIVO DE SEGURIDAD	Función de autoparada cuando ahí sobrecarga (cuando el valor de la fuerza exceda el 102% del valor de la escala máxima, la carga automáticamente se para).

	Control automático de la función de parada (cuando el control de desviación excede $\pm 10\%$ del valor total de la escala, el ensayo se para automáticamente Interruptor de parada de emergencia.
--	---

Fuente: Catalogo de la Máquina Universal Marca Shimadzu Serie UH-500KNI

Como se observa en la Figura 14, para el ensayo se ubicó la probeta de forma precisa en las mordazas de la Máquina Universal.

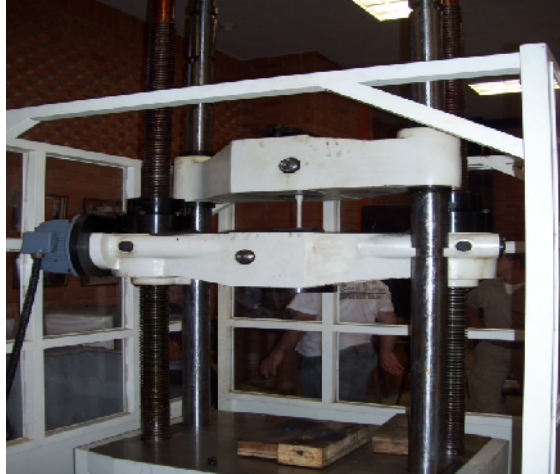
Figura 14. Máquina Universal Marca Shimadzu Serie UH-500KNI



Por: Marcela García y José Rodríguez

A Continuación se coloca la probeta en las mordazas de la máquina universal y se da inicio al ensayo, como se muestra en la figura 15; después de terminado el ensayo se procedió a medir la longitud de la Probeta Ensayada como se observa en la figura 16.

Figura 15. Ensayo en Proceso de la probeta



Por: Marcela García y José Rodríguez

Figura 16. Probeta fracturada



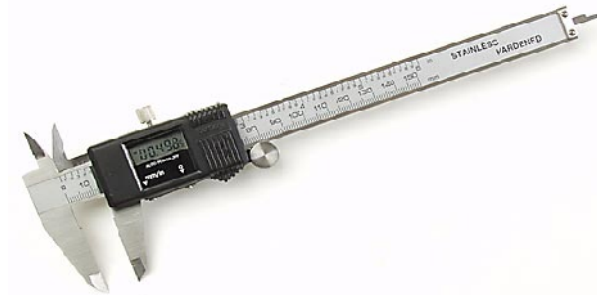
Por: Marcela García y José Rodríguez

3.6.1.2. Calibrador Digital

El calibrador se utilizó para obtener una medida precisa de las dimensiones de la barra, el calibrador es un instrumento mecánico que se utiliza para medir longitudes pequeñas con cierta precisión, contiene dos pares de tenazas en un

extremo y una barra larga que contiene marcada una escala con división de unidades. Los calibradores digitales se utilizan para hallar una medida muy exacta (con una precisión de 0.01mm) al momento de realizarlo. Estos muestran las medidas tanto en unidades inglesas como métricas. En la figura 17 se muestra un calibrador digital.⁶

Figura 17. Calibrador digital



Tomado de: Proveedora industrial de México, herramientas de medición:
<http://proveedoraindustrial.com/imagenes/87Digital%20Electronic%20Calipers.jpg>

3.6.2. Ensayo Dinámico

3.6.2.1. Acelerómetro

PCB Piezotronics Model 352C34

El acelerómetro se usó para optimizar la señal de salida y para la adquisición de datos. Ver figura 18.

⁶ Tomada de: Tooling, calibrador digital: <http://www.toolingu.com/definition-801115-23899-calibrador-digital.html>

Figura 18. Acelerómetro PCB Piezotronics



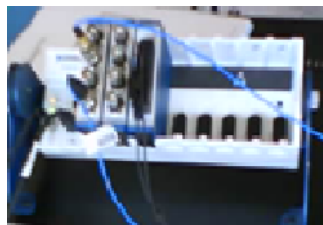
Fuente: Manual PCB Piezotronics Model 352C34

3.6.2.2. DAQ

National Instruments, CompacDAQ 9172.

Este equipo se usó para recolectar y convertir los datos analógicos que envía el acelerómetro a datos digitales, como el computador recibe solo datos digitales se hace necesario la implementación del CompacDAQ 9172. En la figura 19 se muestra el DAQ.

Figura 19. CompacDAQ 9172



Por: Marcela García y José Rodríguez

El cDAQ-9172 de National Instruments es un chasis NI compactDAQ de 8 ranuras que puede soportar hasta ocho módulos de E/S de la serie C. El chasis opera de 11 a 30 DVC e incluye un adaptador de potencia AC/DC. El NI cDAQ-9172 es un dispositivo compatible con USB 2.0 que incluye un cable USB de 1.8 m.

El NI cDAQ-9172 tiene dos chips de contador/temporizador de 32 bits integrados al chasis. Con un modulo E/S digital correlacionado e instalado en la ranura 5 o 6 del chasis, usted puede tener acceso a toda la funcionalidad del chip de contador/temporizador incluyendo conteo de eventos, generación o medida de ancho de pulso y codificadores de cuadratura.

3.6.2.3. SHAKER

MB DINAMICS, MODAL 50 A EXCITER.

El shaker se usa para suministrarle una fuerza a una pieza por medio de una varilla, es decir, al enviarle una señal el shaker se genera un movimiento oscilatorio, al hacer contacto con la pieza se generan unas frecuencias. Ver figura 20.

Figura 20. Shaker (MODAL 50 A EXCITER.)



Por: Marcela García y José Rodríguez

Tabla 5. Especificaciones del **MODAL 50 A EXCITER.**

Fuerza de Salida: Convención Aire Forzado	25 libras (pico) 50 libras (pico)
Golpe	1 pulgada de pico a pico 1,1 pulgadas entre paradas
Rigidez Axial del armazón	< 15 libras/pulg.
Peso del armazón	< 0,4 libras
Rango de Frecuencia del movimiento	Desde 2000 Hz hasta 5000 Hz (DC)
Corriente de la bobina	8,5 Amp. Máx. (conexión con baja impedancia) 4,2 Amp. Máx. (conexión con alta impedancia)
Resistencia de la bobina en DC	1,3 Ohmios (conexión con baja impedancia) 5, 2 Ohmios (conexión con alta impedancia)
Puntas Adjuntas	Los tamaños cilíndricos son desde: 0,20 pulg. hasta 0,127 pulg. Tamaños de los cables: 0-0,031 pulg. 0,031 pulg.- 0,062 pulg. 0,062 pulg. – 0,093 pulg. 0,093 pulg. – 0, 127 pulg.
Excitador Armónico	Su base es ajustable y las patas de la base son regulables. Montaje con múltiples tensores.
Dimensiones	11-1/2 pulg. Arriba. 7-1/2 pulg. X 9-1/4 pulg. Desde el piso.
Peso	55 libras
Kit de Accesorios	Dos masas de 30 libras de peso. Hardware, cables, acelerómetros.

Fuente: Catalogo MB DINAMICS 50 A EXCITER.

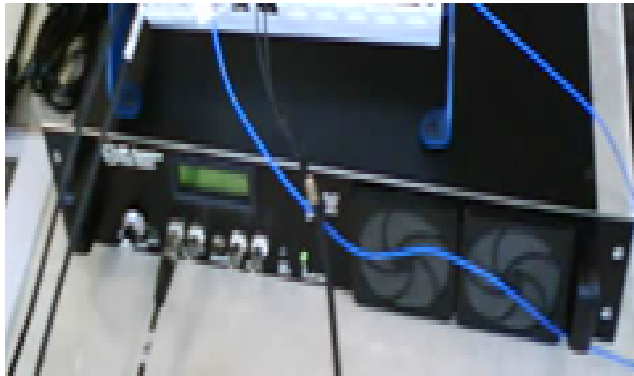
3.6.2.4. FUENTE

MB DINAMCS, MB500VI

Se emplea en el montaje del ensayo dinámico para suministrarle una mayor amplitud a la señal análoga que va a recibir el shaker. Ya que la señal antes de

llegar a la fuente es pequeña y no permite el buen funcionamiento del shaker. Ver figura 21.

Figura 21. Fuente (MB500VI.)



Por: Marcela García y José Rodríguez

3.7. PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCION DEL ENSAYO DINAMICO

En la figura 22, se muestra el montaje para la ejecución del ensayo dinámico. Lo primero que se debe tener en cuenta para llevar a cabo el montaje es que para tener un buen ensayo se necesita tener la pieza horizontal, y no permitir que la pieza descansa sobre la varilla agitadora del shaker; si se deja que la pieza a ensayar ejerza presión sobre la varilla el shaker no va a realizar el ensayo correctamente, ya que no permitirá que la varilla oscile como es debidamente. La pieza debe reposar en unas bandas elásticas para que no interfieran en el movimiento oscilatorio a la que va a estar sometida la pieza, después que ya se posea un buen alineamiento se procede a instalar adecuadamente los acelerómetros que son los que van a generar los datos, los acelerómetros son dos, uno se instala en un extremo de la varilla agitadora y el otro acelerómetro se instala en un extremo de la barra a ensayar. La posición que adquieren los acelerómetros es porque así los datos obtenidos van hacer más confiables. Después de construir el montaje se hacen las respectivas conexiones de los

diferentes equipos (shaker, Fuente, DAQ, Pc.). Al obtener el montaje listo se procede a iniciar el ensayo como se muestra en la figura 22, que consta de crear un circuito en el software Labview, para que de ahí se le proporcione sus respectivos datos y su señal de inicio. El paso a seguir es la captura de las diferentes frecuencias en sus respectivas graficas como se muestra en la figura 23, por último se procede al análisis de los datos obtenidos en el ensayo dinámico.

Figura 22. Ensayo en Proceso del Shaker (MODAL 50 A EXCITER.)



Por: Marcela García y José Rodríguez

Figura 23. Recopilación de Datos en el Software LABVIEW



Por: Marcela García y José Rodríguez

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la ejecución del proyecto “ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÀNICAS DE MATERIALES POLIMERICOS COMERCIALES EN COLOMBIA” se distribuyen del siguiente modo. Primero se muestra los cálculos: porcentaje de reducción de área, el porcentaje de elongación y el porcentaje de error, mediante las ecuaciones 4, 5 y 6; con los datos obtenidos en los ensayos realizados. Después se muestra un análisis de los resultados obtenidos. A continuación se muestran 2 gráficas de la siguiente manera: una grafica de esfuerzo vs deformación unitaria en donde están todos los ensayos realizados; y otra grafica de esfuerzo vs deformación unitaria promedio de todos los ensayos realizados.

Después de las graficas se va a encontrar el análisis de estas y la forma como se calcula el modulo de elasticidad, la resistencias máxima y los resultados. Después se va a encontrar una tabla con los datos obtenidos de los cálculos hechos anteriormente. Finalmente se encuentra una gráfica de la simulación de las frecuencias naturales realizada en el software Ansys; y otra gráfica del software Labview, donde se muestran las frecuencias naturales obtenidas por el ensayo realizado con el Shaker; posterior a esto se encuentra el análisis de las frecuencias naturales.

Este orden rige para todos los materiales ensayados en el proyecto “ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÀNICAS DE MATERIALES POLIMERICOS COMERCIALES EN COLOMBIA”.

Porcentaje de reducción de área:

$$\% RA = \frac{A_i - A_f}{A_i} \cdot 100\% \quad \text{Ecuación 4}$$

Porcentaje de elongación:

$$\% \text{Elongación} = \frac{L_f - L_i}{L_i} \cdot 100\% \quad \text{Ecuación 5}$$

Porcentaje de Error:

$$\% \text{Error} = \frac{\text{Valor Experimental} - \text{Valor Teórico}}{\text{Valor Teórico}} \cdot 100\% \quad \text{Ecuación 6}$$

4.1. NYLON

Ensayo 1

$$Di = 0,01254 \text{ m}$$

$$Df = 0,01138 \text{ m}$$

$$Li = 0,12165 \text{ m}$$

$$Lf = 0,14220 \text{ m}$$

$$Ai = \frac{\pi}{4} \cdot Di^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,01254^2 = 1,235 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Af = \frac{\pi}{4} \cdot Df^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,01138^2 = 1,0171 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\%RA = \frac{Ai - Af}{Ai} \cdot 100\% = \frac{1,235 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 - 1,0171 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{1,235 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} \cdot 100\%$$

$$\%RA (\text{Ensayo 1}) = 17,64 \%$$

$$\% \text{Elongacion} = \frac{Lf - Li}{Li} \cdot 100\% = \frac{0,14220 \text{ m} - 0,12165 \text{ m}}{0,12165 \text{ m}} \cdot 100\%$$

$$\% \text{Elongacion} (\text{Ensayo 1}) = 16,89 \%$$

4.1.1. Promedio del Porcentaje de Reducción de Área del Nylon

$$Nylon = \frac{\%REns1 + \%REns2 + \%REns3 + \%REns4 + \%REns5 + \%REns6}{6}$$

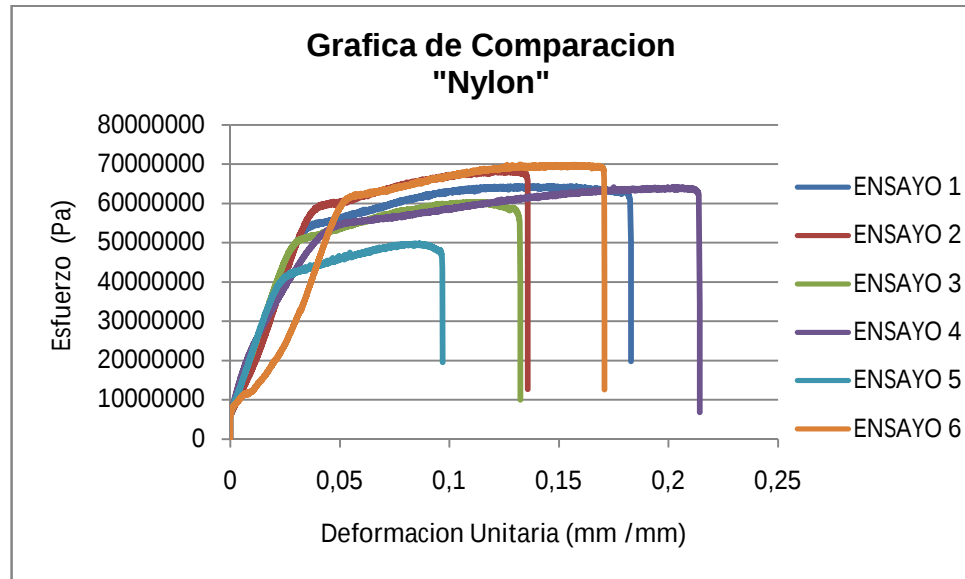
$$Nylon = \frac{17,64 + 11,95 + 29,55 + 14,88 + 26,82 + 15,04}{6} = 19,31 \%$$

4.1.2. Promedio del Porcentaje de Elongación del Nylon

$$Nylon = \frac{\%EEnsayo1 + \%EEnsayo2 + \%EEnsayo3 + \%EEnsayo4 + \%EEnsayo5 + \%EEnsayo6}{6}$$

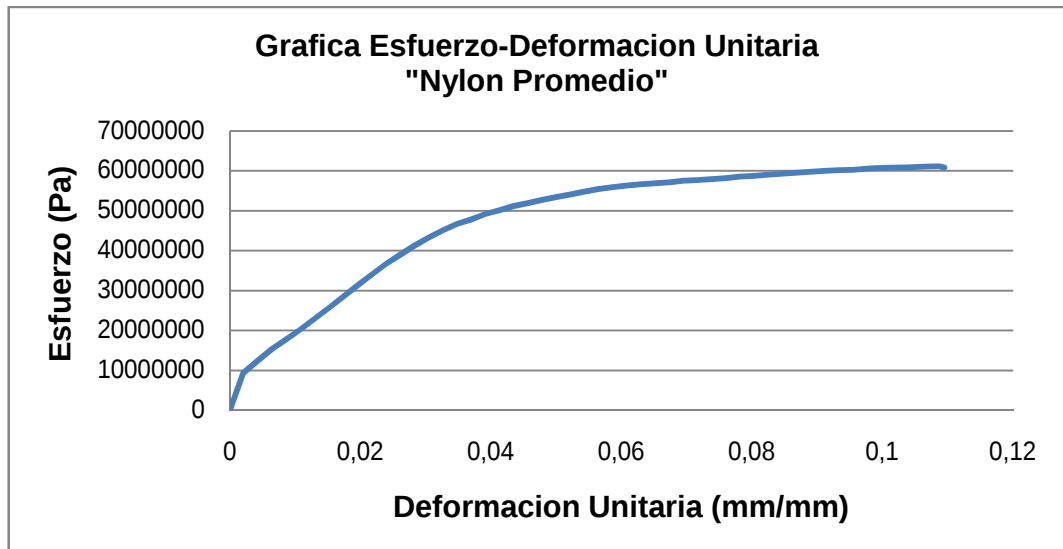
$$Nylon = \frac{16,89 + 11,31 + 19,38 + 10,51 + 9,37 + 10,07}{6} = 12,92 \%$$

Figura 24. Grafica Esfuerzo vs Deformación unitaria del Nylon



Por: Marcela García y José Rodríguez

Figura 25. Grafica Esfuerzo vs Deformación Unitaria del Nylon Promedio



Por: Marcela García y José Rodríguez

4.1.3. Modulo de Elasticidad del Nylon

De la Ecuación 3, se halla:

$$E_{Nylon} = \frac{15310959,035}{0,0642592} = 2,3 \text{ GPa}$$

4.1.4. Porcentaje de error del Modulo de elasticidad del Nylon

$$E_{T. nylon} = 2,2 \text{ Gpa}$$

De la ecuación 6:

$$\% \text{ de Error del } E_{nylon} = \frac{2,2-2,3}{2,2} \cdot 100\% = 4,5 \%$$

4.1.5. Porcentaje de Error de la Resistencia Máxima del Nylon

Resistencia Máxima teórica del Nylon = 82737000 Pa

Resistencia Máxima experimental del Nylon=61127471,36 Pa

De la ecuación 6:

$$\% \text{ de Error de la } R_{max. nylon} = \frac{61127471,36-82737000}{82737000} \cdot 100\% = 26\%$$

En las figuras 24 y 25 se pudo observar que el resultado de las curvas del nylon, no fueron uniformes, debido a que posiblemente hubo errores de manufactura y de la calidad de los polímeros adquiridos, ya que no se pudo contar con un buen acabado superficial microscópico.

Por medio de la curva esfuerzo-deformación unitaria de la figura 25, se determina las propiedades mecánicas como lo son, modulo de elasticidad, que se halla mediante la pendiente en la parte elástica de las curvas.

El porcentaje de error del modulo de elasticidad del Nylon, indica que el valor obtenido en el Ensayo Estático estuvo muy cerca del valor obtenido en el Ensayo Dinámico; lo que origina mayor confianza en el valor obtenido.

El esfuerzo de fluencia, se halló utilizando una deformación permanente del 0,2%. El valor obtenido mediante la curva de la figura 25, indica el esfuerzo máximo que puede soportar el Nylon, antes de cambiar del límite elástico al límite plástico, y tiene un valor de 15,31Mpa, lo que representa una baja resistencia del material.

Para determinar el valor del esfuerzo máximo, se traza una línea horizontal en el punto máximo de la curva, esta línea llega hasta el eje de los esfuerzo (eje Y), y ahí se halla el valor del esfuerzo ó resistencia máxima.

Al comparar los resultados del esfuerzo máximo hallado experimentalmente con la curva de la figura 25 del nylon y los datos teóricos encontrados en la bibliografía; se obtiene un porcentaje de error del 26%, lo que demuestra la necesidad de un mayor número de ensayos o un análisis químico para determinar la composición del material ensayado.

Los datos obtenidos se relacionan en la tabla 6:

Tabla 6. Datos obtenidos del Nylon.

Ensayo Valor	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6	Ensayos Promedio
Di (m)	0,01254	0,01248	0,01257	0,01253	0,01252	0,01275	X
Df (m)	0,01138	0,01171	0,01055	0,01156	0,01071	0,0117	X
Li (m)	0,12165	0,12077	0,11228	0,12064	0,12152	0,12006	X
Lf (m)	0,14220	0,13444	0,13433	0,13333	0,13291	0,13216	X
Ai (m²)	$1,235 \cdot 10^{-4}$	$1,233 \cdot 10^{-4}$	$1,24 \cdot 10^{-4}$	$1,233 \cdot 10^{-4}$	$1,231 \cdot 10^{-4}$	$1,276 \cdot 10^{-4}$	X
Af (m²)	$1,017 \cdot 10^{-4}$	$1,076 \cdot 10^{-4}$	$8,74 \cdot 10^{-5}$	$1,049 \cdot 10^{-4}$	$9,088 \cdot 10^{-5}$	$1,084 \cdot 10^{-4}$	X
%RA	17,64	11,95	29,55	14,88	26,82	15,04	19,31
% Elongación	16,89	11,31	9,38	10,51	9,37	10,07	12,92
% Error Modulo de Elasticidad	x	x	x	x	x	x	4,5
Esfuerzo de Fluencia (MPa)	x	x	x	x	x	x	15,31
Coeficiente de Poisson	x	x	x	x	x	x	0,4
% Error de la Resistencia Max.	x	x	x	x	x	x	26

Por: Marcela García y José Rodríguez

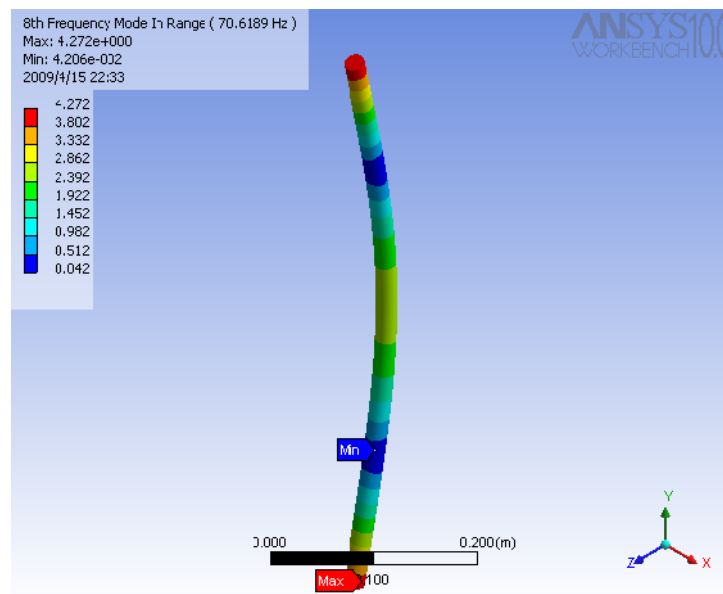
De acuerdo a los resultados obtenidos de las propiedades mecánicas (ver tabla 6), se puede hacer el siguiente análisis.

Según el libro de la bibliografía 5, la ductilidad es el grado en el cual un material se deforma antes de su fractura final, la medida de la ductilidad es el porcentaje de elongación y el porcentaje de reducción de área.

Se considera que un material es dúctil si su porcentaje de elongación es mayor del 5% (los valores menores indican que es frágil). En los resultados obtenidos de los ensayos se pudo observar que el porcentaje de elongación es de 11.49% y el porcentaje de reducción de área de 20.168%, esto indica que el material nylon ensayado es dúctil. El coeficiente de Poisson de 0,4 indica que la deformación unitaria lateral está a un 40% de la deformación unitaria longitudinal. Debido a que el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo máximo de tensión son bajos se considera que el polietileno de alta densidad es un material de baja Resistencia Mecánica.

4.1.6. Análisis del ensayo Dinámico del Nylon.

Figura 26. Armónico encontrado por la simulación del software ANSYS Workbench 10 para el Nylon.



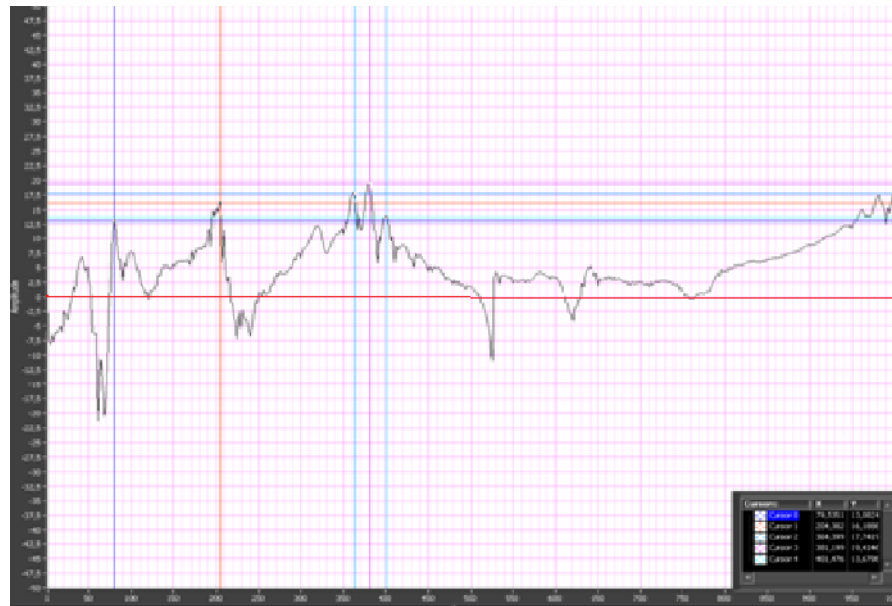
Fuente: Software ANSYS Workbench 10

Tabla 7. Valor de la Frecuencias Natural Simulada por el software Ansys del Nylon

Nombre	Frecuencia
"1th Frequency Mode In Range"	70,6189 Hz

Por: Marcela García y José Rodríguez

Figura 27. Frecuencia de Respuesta del Nylon del ensayo dinámico en el software LABVIEW



Fuente: Software LABVIEW

Figura 28. Resultado del ensayo dinámico del Nylon



Fuente: Software LABVIEW

Tabla 8. Frecuencia Natural del ensayo dinámico del Nylon

Nombre	Frecuencia
"1st Frequency "	79,5351 Hz

Por: Marcela García y José Rodríguez

Se le hizo el estudio de frecuencias naturales a las probetas el cual consiste en utilizar las herramientas CAD "Solid Edge 18 y Ansys Workbench 10" para hallar las frecuencias naturales de las probetas de forma teórica. En esta forma se ven todas las frecuencias naturales de las probetas y su comportamiento en cada una de ellas.

Los resultados obtenidos en la simulación en Ansys Workbench 10, como se observa en la figura 26, son de gran ayuda para compararlos con los que se obtienen en el ensayo dinámico, en la figura 27.

En la tabla 7 se muestra el resultado de la frecuencia armónica obtenida por la simulación en ANSYS, en la tabla 8 se muestra el resultado de la frecuencia, obtenida por el ensayo dinámico; donde se observa que la frecuencia obtenida en el ANSYS y la frecuencia obtenida por el ensayo dinámico; es similar; presentando un error (calculado con la ecuación 6) del 12.62%. Esto quiere decir, que el valor hallado con la simulación en el Ansys, estuvo cerca al valor obtenido por el ensayo dinámico realizado en el Shaker.

4.2. POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD

Ensayo 1:

$$Di = 0,01253 \text{ m}$$

$$Df = 0,00989 \text{ m}$$

$$Li = 0,12277 \text{ m}$$

$$Lf = 0,17103 \text{ m}$$

$$Ai = \frac{\pi}{4} \cdot Di^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,01253^2 = 1,2330 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Af = \frac{\pi}{4} \cdot Df^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,0103^2 = 7,6821 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\%RA = \frac{Ai - Af}{Ai} \cdot 100\% = \frac{1,2330 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 - 7,6821 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2}{1,2330 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} \cdot 100\%$$

$$\%RA (\text{Ensayo 1}) = 37,69 \%$$

$$\% \text{Elongacion} = \frac{Lf - Li}{Li} \cdot 100\% = \frac{0,17103 \text{ m} - 0,12277 \text{ m}}{0,12277 \text{ m}} \cdot 100\%$$

$$\% \text{Elongacion} (\text{Ensayo 1}) = 39,30 \%$$

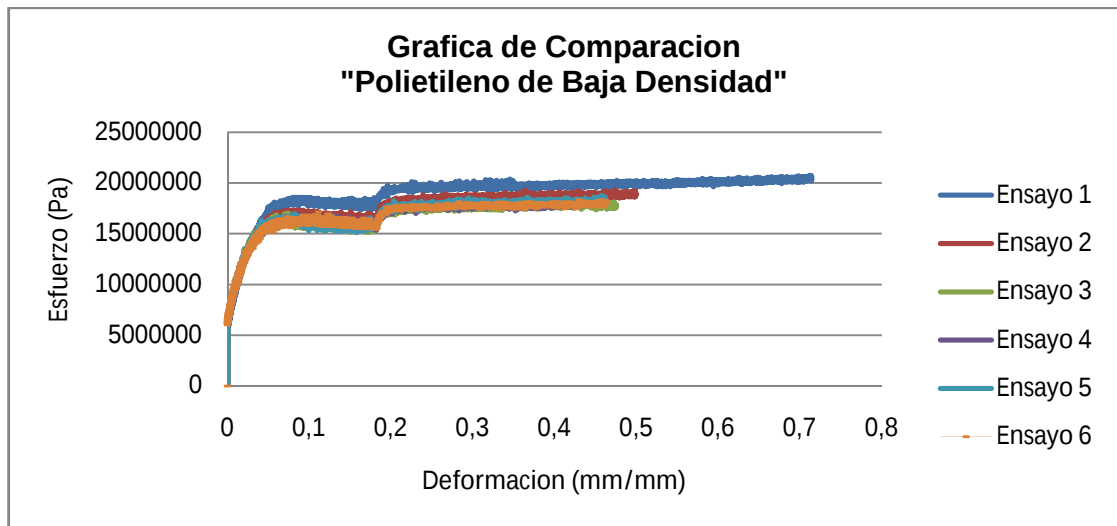
4.2.1. Promedio de Porcentaje de Reducción de Área del Polietileno de Baja

$$\text{Polietileno de Baja Densidad} = \frac{37,69 + 38,18 + 36,30 + 38,12 + 37,47 + 56,55}{6} = 40,71 \%$$

4.2.2. Promedio del Porcentaje de Elongación del Polietileno de Baja

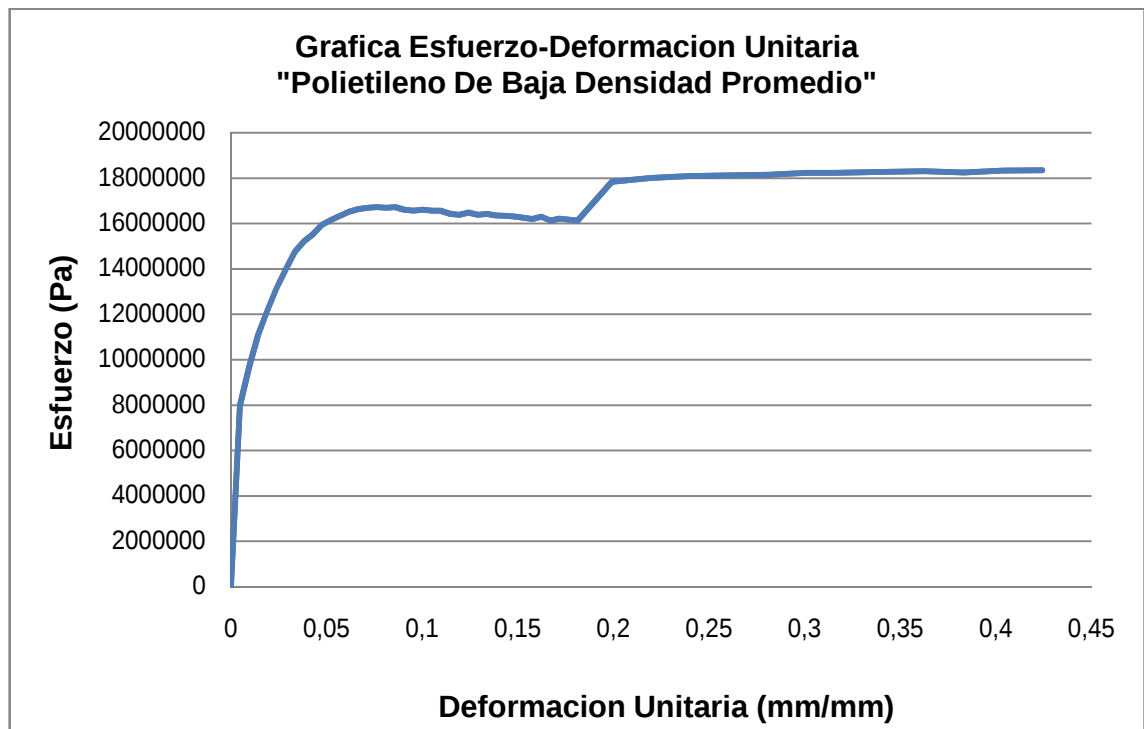
$$\text{Polietileno de Baja Densidad} = \frac{39,30 + 46,70 + 41,53 + 39,95 + 39,88 + 54,56}{6} = 43,65 \%$$

Figura 29. Grafica Esfuerzo vs Deformación unitaria del Polietileno de baja densidad.



Por: Marcela García y José Rodríguez

Figura 30. Grafica Esfuerzo vs Deformación unitaria del polietileno de baja densidad promedio.



Por: Marcela García y José Rodríguez

En la figura 29 se observó que las curvas de los ensayos dieron de manera similar, el polietileno de baja densidad se comporta de esta manera, debido a que hipotéticamente hablando, se puede decir, que el procesado fue optimo además; el ensayo en la maquina universal no produjo errores en la toma de los datos. También se observó que las probetas ensayadas del polietileno de baja densidad no sufrieron fractura, esto ocurrió debido a que la Maquina Universal utilizada no permite un desplazamiento superior de 250 mm, entre mordazas, y en las dimensiones de las probetas ensayadas son 220 mm, entre mordazas. Como en la curva esfuerzo-deformación unitaria de la figura 30 tiende a ser constante, se asume que, el punto máximo es el esfuerzo máximo, por ello se realiza una comparación de los datos experimentales hallados con datos teóricos encontrados en la bibliografía; y se afirma que no es confiable este valor obtenido, ya que se está cerca un 11,65% del valor teórico.

4.2.3. Modulo de Elasticidad del Polietileno de Baja Densidad

De la Ecuación 3, se halla:

$$E_{polietileno\ Baja} = \frac{11105881,91}{0,014254545} = 0,77\ GPa$$

4.2.4. Porcentaje de error del Modulo de elasticidad del Polietileno de Baja Densidad

$$E_{T\ polietileno\ de\ baja} = 0,58\ Gpa$$

De la ecuación 6

$$\% \text{ de Error del } E_{polietileno\ de\ baja} = \frac{0,77-0,58}{0,58} \cdot 100\% = 32\ \%$$

4.2.5. Porcentaje de Error de la Resistencia Máxima

Resistencia Máxima teórica del Polietileno de Baja densidad =20684250 Pa

Resistencia Máxima experimental del Polietileno de Baja =18272989,44 Pa

De la ecuación 6:

$$\% \text{ de Error de la } R_{\text{max.poliet.baja}} = \frac{18272989,44 - 20684250}{20684250} \cdot 100\% = 11,65\%$$

Los datos obtenidos se relacionan en la tabla 9:

Tabla 9. Datos obtenidos del Polietileno de Baja Densidad

Ensayo Valor	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6	Ensayos Prom.
Di (m)	0,01253	0,01263	0,01268	0,01237	0,01253	0,0137	X
Df (m)	0,0989	0,0993	0,01012	0,0975	0,0991	0,0903	X
Li (m)	0,12277	0,12115	0,12021	0,12166	0,11919	0,12333	X
Lf (m)	0,17103	0,17773	0,17014	0,17027	0,16671	0,19062	X
Ai (m²)	$1,233 \cdot 10^{-4}$	$1,252 \cdot 10^{-4}$	$1,262 \cdot 10^{-4}$	$1,201 \cdot 10^{-4}$	$1,233 \cdot 10^{-4}$	$1,474 \cdot 10^{-4}$	X
Af (m²)	$7,682 \cdot 10^{-5}$	$7,774 \cdot 10^{-5}$	$8,74 \cdot 10^{-5}$	$7,435 \cdot 10^{-5}$	$7,713 \cdot 10^{-5}$	$6,404 \cdot 10^{-5}$	X
%RA	37,69	38,18	36,30	38,12	37,47	56,55	40,71
% Elongación	39,30	46,70	41,53	39,95	39,88	54,56	43,65
% Error Modulo de Elasticidad	x	x	x	x	x	x	32
Esfuerzo de Fluencia (MPa)	x	x	x	x	x	x	11,10
Coeficiente de Poisson	x	x	x	x	x	x	0,46
% Error de la Resistencia Max.	x	x	x	x	x	x	11,65

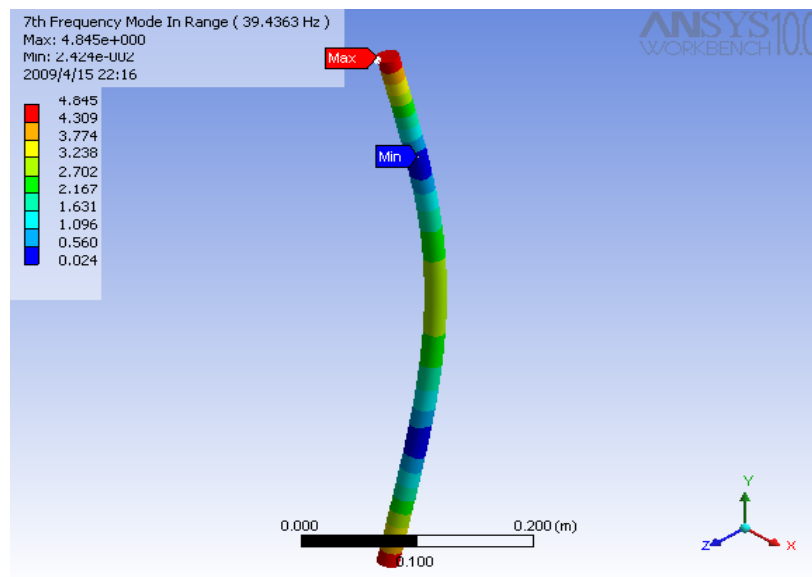
Por: Marcela García y José Rodríguez

De acuerdo a los resultados obtenidos de las propiedades mecánicas (ver tabla 9), se puede hacer el siguiente análisis.

En los resultados obtenidos de los ensayos se pudo observar que el porcentaje de elongación es de 41,47% y el porcentaje de reducción de área de 37,55%, esto indica que el material Polietileno de baja densidad ensayado es dúctil. El coeficiente de Poisson de 0,46 indica que la deformación unitaria lateral está a un 46% de la deformación unitaria longitudinal. El valor 11,10 Mpa del esfuerzo de fluencia indica la carga que el Polietileno de Baja Densidad soporta antes de presentar una deformación permanente. Debido a que el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo máximo de tensión son bajos se considera que el Polietileno de baja densidad es un material de baja Resistencia Mecánica.

4.2.6. Análisis del ensayo Dinámico del Polietileno de Baja Densidad.

Figura 31. Armónico encontrado por la simulación del software ANSYS Workbench 10 para el Polietileno de Baja Densidad



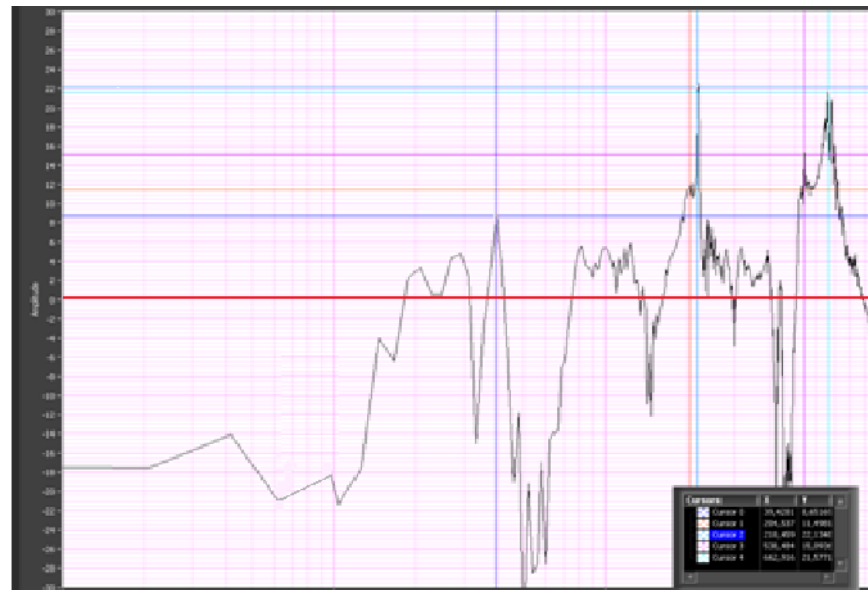
Fuente: Software ANSYS Workbench 10

Tabla 10. Valor de la Frecuencia Natural Simulada por el Software ANSYS del Polietileno de Baja Densidad.

Nombre	Frecuencia
"1th Frequency Mode In Range"	39,4363Hz

Por: Marcela García y José Rodríguez

Figura 32. Frecuencia de Respuesta del Polietileno de Baja Densidad del ensayo dinámico en el software LABVIEW



Fuente: Software LAVBIEW

Figura 33. Resultado del ensayo dinámico del Polietileno de Baja Densidad.



Fuente: Software LAVBIEW

Tabla 11. Frecuencia Natural del Ensayo Dinámico del Polietileno de Baja Densidad

Nombre	Frecuencia
"1st Frequency "	39,4281 Hz

Por: Marcela García y José Rodríguez

En la tabla 10 se muestra el resultado de la frecuencia armónica obtenida por la simulación en ANSYS, en la tabla 11 se muestra el resultado de la frecuencia, obtenida por el ensayo dinámico; donde se observa que la frecuencia obtenida en el ANSYS y la frecuencia obtenida por el ensayo dinámico; es similar; presentando un error (calculado con la ecuación 6) del 0,0207%. Esto quiere decir, que el valor hallado con la simulación en el Ansys, estuvo cerca al valor obtenido por el ensayo dinámico realizado en el Shaker

4.3. POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

Ensayo 1:

$$Di = 0,01262 \text{ m}$$

$$Df = 0,0096 \text{ m}$$

$$Li = 0,1218 \text{ m}$$

$$Lf = 0,1763 \text{ m}$$

$$Ai = \frac{\pi}{4} \cdot Di^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,01262^2 = 1,2508 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Af = \frac{\pi}{4} \cdot Df^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,0096^2 = 7,2986 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\%RA = \frac{Ai - Af}{Ai} \cdot 100\% = \frac{1,2508 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 - 7,2986 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2}{1,2508 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} \cdot 100\%$$

$$\%RA (\text{Ensayo 1}) = 41,65 \%$$

$$\% \text{Elongacion} = \frac{Lf - Li}{Li} \cdot 100\% = \frac{0,17631 \text{ m} - 0,1218 \text{ m}}{0,1218 \text{ m}} \cdot 100\%$$

$$\% \text{Elongacion} (\text{Ensayo 1}) = 44,75 \%$$

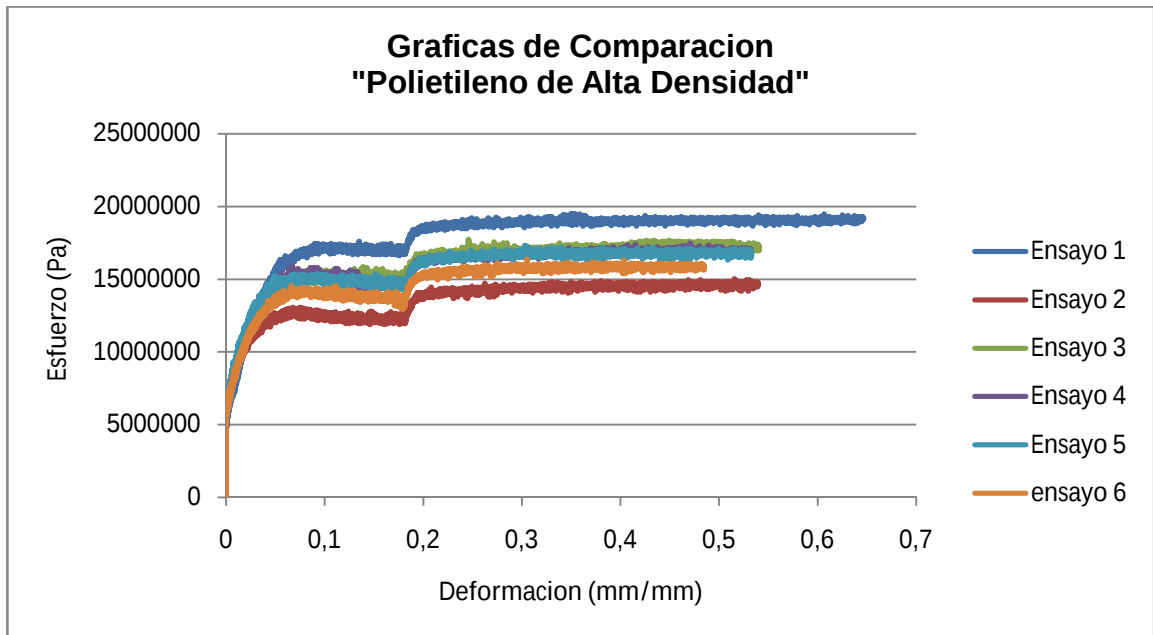
4.3.1. Promedio de Porcentaje de Reducción de Área del Polietileno de Alta

$$\text{Polietileno de Alta Densidad} = \frac{41,65+35,58+32,44+42,41+36,28+57,12}{6} = 40,91\%$$

4.3.2. Promedio del Porcentaje de Elongación del Polietileno de Alta

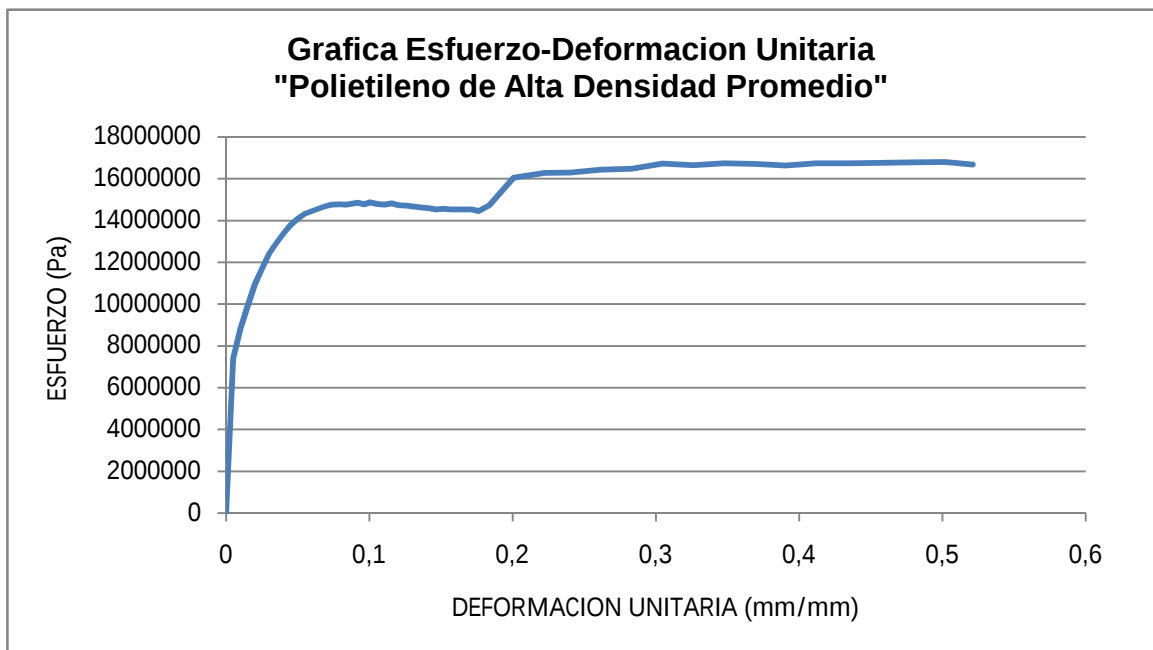
$$\text{Polietileno de Alta Densidad} = \frac{44,75+44,35+33,30+38,82+44,01+67,17}{6} = 45,4\%$$

Figura 34. Grafica Esfuerzo vs Deformación unitaria del polietileno de alta densidad



Por: Marcela García y José Rodríguez

Figura 35. Grafica Esfuerzo vs Deformación unitaria del polietileno de alta densidad promedio



Por: Marcela García y José Rodríguez

En las figuras 34 se observó que la deformación de cada ensayo se comporto de manera similar, pero el esfuerzo si se comportó de manera diferente, esto debido a que cada probeta ensayada tenia posiblemente defectos debido a la terminación del maquinado, además el ensayo no se llevo a total finalidad debido a que la maquina universal de la universidad tiene un desplazamiento superior de 250 mm, entre mordazas, y en las dimensiones de las probetas ensayadas son 220 mm, entre mordazas.

En la figura 35, se observa que la curva esfuerzo-deformación unitaria tiende hacer constante se asume que el punto máximo es el esfuerzo máximo, por ello se realiza una comparación de los datos experimentales hallados con datos teóricos encontrados en la bibliografía; y se llevo al análisis de que no es confiable este valor obtenido, ya que el porcentaje de error es de 55,7 %, esto quiere decir que el valor no está cerca debido a que no hubo Rotura siendo esto la posible causa de la diferencia.

4.3.3. Modulo de Elasticidad del Polietileno de alta Densidad

De la Ecuación 3, se halla:

$$E_{polietileno\ Alta} = \frac{8832880,814}{0,01003636} = 0,88\ GPa$$

4.3.4. Porcentaje de error del Modulo de elasticidad del Polietileno de Alta Densidad

$$E_{T.polietileno\ de\ alta} = 0,63\ Gpa$$

De la ecuación 6

$$\% \text{ de Error del } E_{\text{polietileno de alta}} = \frac{0,63-0,88}{0,63} \cdot 100\% = 39 \%$$

4.3.5. Porcentaje de Error de la Resistencia Máxima del Polietileno de Alta Densidad

Resistencia Máxima teórica del Polietileno de Alta densidad = 37921125 Pa

Resistencia Máxima experimental del Polietileno de Alta densidad=16779759,61 Pa

De la ecuación 6:

$$\% \text{ de Error de la } R_{\text{max.poliet.alta}} = \frac{16779759,61-37921125}{37921125} \cdot 100\% = 55,7\%$$

Los datos obtenidos se relacionan en la tabla 12:

Tabla 12. Datos Obtenidos del Polietileno de Alta Densidad

Ensayo Valor	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6	Ensayos Prom.
Di (m)	0,01262	0,01236	0,01258	0,01219	0,01224	0,01274	X
Df (m)	0,0964	0,0992	0,01034	0,0925	0,0977	0,0834	X
Li (m)	0,1218	0,11941	0,11986	0,12212	0,1204	0,12196	X
Lf (m)	0,17631	0,17238	0,15978	0,16953	0,1734	0,20389	X
Ai (m²)	$1,25 \cdot 10^{-4}$	$1,199 \cdot 10^{-4}$	$1,249 \cdot 10^{-4}$	$1,167 \cdot 10^{-4}$	$1,176 \cdot 10^{-4}$	$1,274 \cdot 10^{-4}$	X
Af (m²)	$7,2984 \cdot 10^{-5}$	$7,728 \cdot 10^{-5}$	$8,397 \cdot 10^{-5}$	$6,720 \cdot 10^{-5}$	$7,469 \cdot 10^{-5}$	$5,462 \cdot 10^{-5}$	X
%RA	41,65	35,58	32,44	42,41	36,28	57,12	40,91
% Elongación	44,75	44,35	33,30	38,82	44,01	67,17	45,4
% Error Modulo de Elasticidad	x	x	x	x	x	x	39
Esfuerzo de Fluencia (MPa)	x	x	x	x	x	x	8,32
Coeficiente de Poisson	x	x	x	x	x	x	0,46
% Error de la Resistencia Max.	x	x	x	x	x	x	55,7

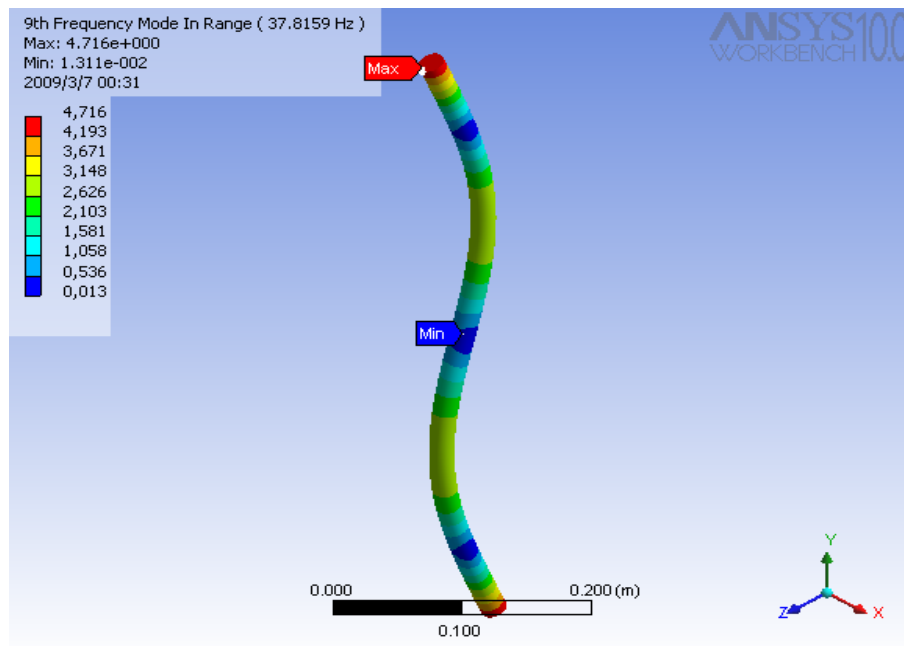
Por: Marcela García y José Rodríguez

De acuerdo a los resultados obtenidos de las propiedades mecánicas (ver tabla 12), se puede hacer el siguiente análisis.

En los resultados obtenidos de los ensayos se pudo observar que el porcentaje de elongación es de 41,04% y el porcentaje de reducción de área de 37,66%, esto indica que el material nylon ensayado es dúctil. El coeficiente de Poisson de 0,46 indica que la deformación unitaria lateral está a 46% de la deformación unitaria longitudinal. El valor 8,32 Mpa del esfuerzo de fluencia indica la carga que el Polietileno de alta densidad soporta antes de presentar una deformación permanente. Debido a que el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo máximo de tensión son bajos se considera que el polietileno de alta densidad es un material de baja Resistencia Mecánica.

4.3.6. Análisis del ensayo Dinámico del Polietileno de Alta Densidad.

Figura 36. Armónico encontrado por la simulación del software ANSYS Workbench 10 para el Polietileno de Alta Densidad



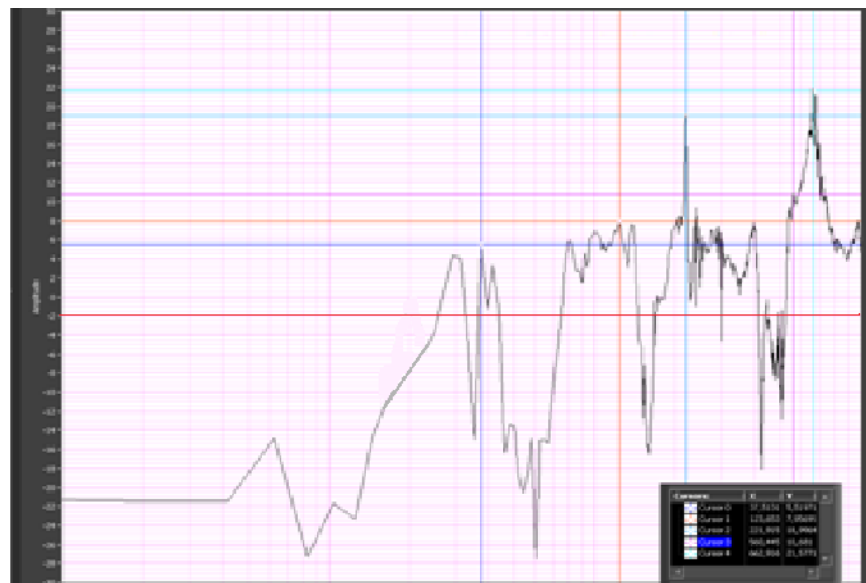
Fuente: Software ANSYS Workben 10.

Tabla 13. Valor de la Frecuencia Natural Teórica del Polietileno de Alta Densidad

Nombre	Frecuencia
"1th Frequency Mode In Range"	37,8156Hz

Por: Marcela García y José Rodríguez

Figura 37. Frecuencia de Respuesta del ensayo dinamico del Polietileno de alta Densidad simulada en el software LABVIEW



Fuente: Software LABVIEW

Figura 38. Resultado del ensayo dinámico del Polietileno de alta Densidad



Fuente: Software LABVIEW

Tabla 14. Frecuencias Natural del Ensayo Dinámico del Polietileno de Alta Densidad

Nombre	Frecuencia
"1st Frequency "	37,5131Hz

Por: Marcela García y José Rodríguez

En la tabla 13 se muestra el resultado de la frecuencia armónica obtenida por la simulación en ANSYS, en la tabla 14 se muestra el resultado de la frecuencia, obtenida por el ensayo dinámico; donde se observa que la frecuencia obtenida en el ANSYS y la frecuencia obtenida por el ensayo dinámico; es similar; presentando un error (calculado con la ecuación 6) del 0,799%. Esto quiere decir, que el valor hallado con la simulación en el Ansys, estuvo cerca al valor obtenido por el ensayo dinámico realizado en el Shaker.

4.4. POLIURETANO

Ensayo 1:

$$Di = 0,01255 \text{ m}$$

$$Df = 0,01057 \text{ m}$$

$$Li = 0,12109 \text{ m}$$

$$Lf = 0,16528 \text{ m}$$

$$Ai = \frac{\pi}{4} \cdot Di^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,01255^2 = 1,237021 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Af = \frac{\pi}{4} \cdot Df^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,01057^2 = 8,7748 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\%RA = \frac{Ai - Af}{Ai} \cdot 100\% = \frac{1,237021 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 - 8,7748 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2}{1,237021 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} \cdot 100\%$$

$$\%RA (\text{Ensayo 1}) = 29,06 \%$$

$$\% \text{Elongacion} = \frac{Lf - Li}{Li} \cdot 100\% = \frac{0,16528 \text{ m} - 0,12109 \text{ m}}{0,12109 \text{ m}} \cdot 100\%$$

$$\% \text{Elongacion} (\text{Ensayo 1}) = 36,49 \%$$

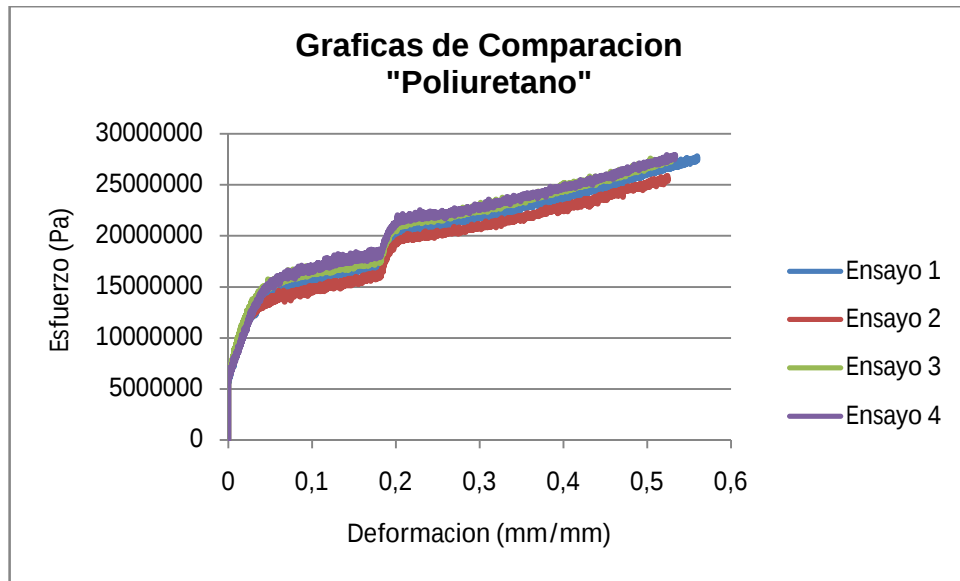
4.4.1. Promedio de Porcentaje de Reducción de Área del Poliuretano

$$\text{Poliuretano} = \frac{29,06 + 27,20 + 25,12 + 25,58}{4} = 26,74\%$$

4.4.2. Promedio del Porcentaje de Elongación del Poliuretano

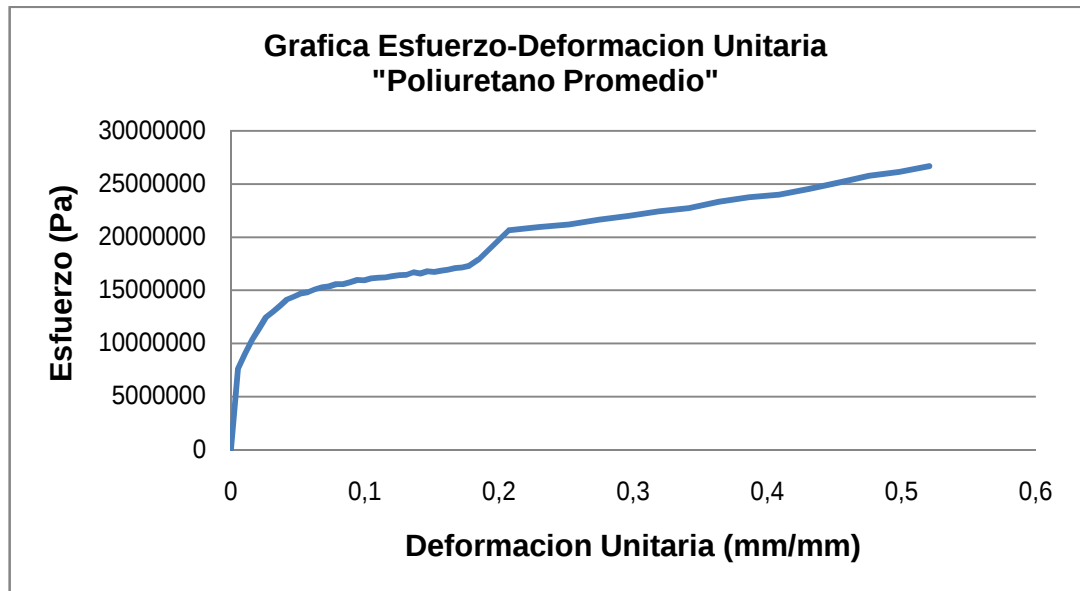
$$\text{Poliuretano} = \frac{36,49 + 34,03 + 27,23 + 28,39}{4} = 31,53\%$$

Figura 39. Grafica Esfuerzo vs Deformación unitaria del poliuretano



Por: Marcela García y José Rodríguez

Figura 40. Grafica Esfuerzo vs Deformación unitaria del poliuretano promedio



Por: Marcela García y José Rodríguez

En la figura 39 se observó que todas las curvas esfuerzo-deformación unitaria de los ensayos realizados son similares y tienden a un comportamiento de crecimiento de un su respectivas constantes. Al ver que la curva no tiene indicios de permanecer constante en su esfuerzo máximo, se tomo la decisión de no hacer la comparación con los datos obtenidos en la bibliografía.

Al analizar la curva esfuerzo-deformación unitaria promedio de la figura 40 se nota que el poliuretano no sufre fractura, esto debido a que la Máquina Universal usada en el ensayo tiene una restricción de desplazamiento de 250mm, entre mordazas.

4.4.3. Modulo de Elasticidad del Poliuretano

De la Ecuación 3, se halla:

$$E_{poliuretano} = \frac{10322633,19}{0,015613636} = 0,66 \text{ GPa}$$

4.4.4. Porcentaje de error del Modulo de elasticidad del Poliuretano

$$E_{Tpoliuretano} = 0,78 \text{ GPa}$$

De la ecuación 6:

$$\% \text{ de Error del } E_{poliuretano} = \frac{0,66-0,78}{0,78} \cdot 100\% = 15 \%$$

Los datos obtenidos se relacionan en la tabla 15:

Tabla 15. Datos obtenidos del Poliuretano

Ensayo Valor	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayos Prom.
Di (m)	0,01255	0,0124	0,0124	0,01252	X
Df (m)	0,01057	0,01058	0,01073	0,0108	X
Li (m)	0,12109	0,12209	0,12262	0,11895	X
Lf (m)	0,17631	0,16369	0,15602	0,15337	X
Ai (m²)	$1,237 \cdot 10^{-4}$	$1,207 \cdot 10^{-4}$	$1,207 \cdot 10^{-4}$	$1,231 \cdot 10^{-4}$	X
Af (m²)	$8,77 \cdot 10^{-5}$	$8,791 \cdot 10^{-5}$	$9,042 \cdot 10^{-5}$	$9,160 \cdot 10^{-5}$	X
%RA	29,06	27,20	25,12	25,58	26.74
% Elongación	36,49	34,03	27,23	28,39	31.53
% Error Modulo de Elasticidad	x	x	x	x	15
Esfuerzo de Fluencia (MPa)	x	x	x	x	10,32
Coeficiente de Poisson	x	x	x	x	0,3

Por: Marcela García y José Rodríguez

De acuerdo a los resultados obtenidos de las propiedades mecánicas (ver tabla 12), se puede hacer el siguiente análisis.

En los resultados obtenidos de los ensayos se pudo observar que el porcentaje de elongación es de 31,53% y el porcentaje de reducción de área de 26,74%, esto indica que el material nylon ensayado es dúctil. El coeficiente de Poisson de 0,3 indica que la deformación unitaria lateral está a 30% de la deformación unitaria longitudinal. El valor 10,32 Mpa del esfuerzo de fluencia indica la carga que el poliuretano soporta antes de presentar una deformación permanente.

4.4.5. Análisis del ensayo Dinámico del Poliuretano.

Figura 41. Armónico encontrado por la simulación del software ANSYS Workbench 10, para el Poliuretano.

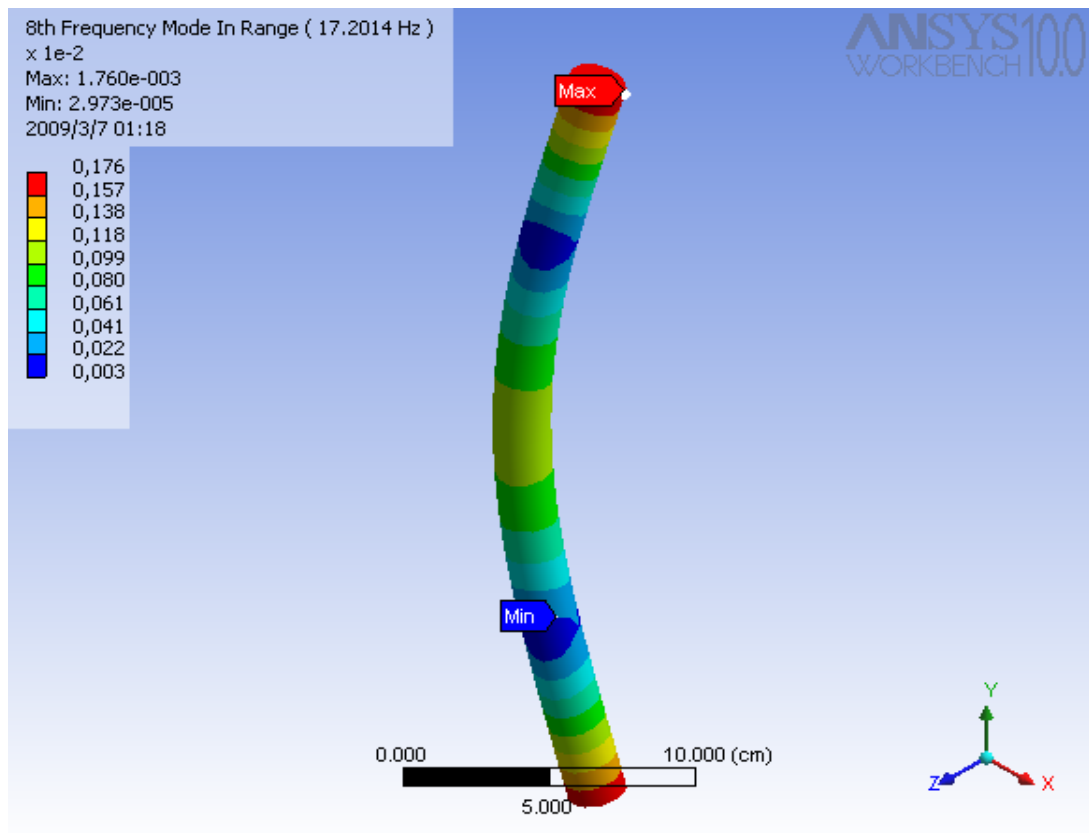
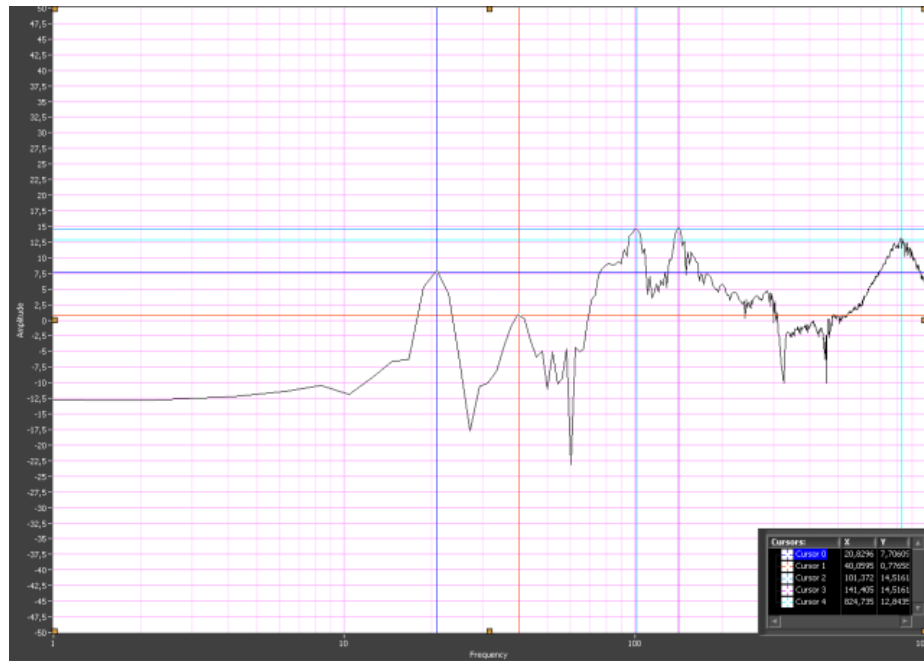


Figura 42. Frecuencia de Respuesta del ensayo dinámico del Poliuretano simulado en el software Labview.



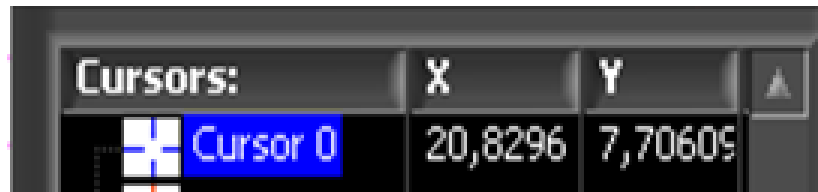
Fuente: Software Labview

Tabla 16. Valor de la Frecuencia Natural Teórica del Poliuretano

Nombre	Frecuencia
"1th Frequency Mode In Range"	17,2014Hz

Por: Marcela García y José Rodríguez

Figura 43. Resultado del ensayo dinámico del Poliuretano



Fuente: Software LABVIEW

Tabla 17. Frecuencia Natural del ensayo dinámico experimental del Poliuretano

Nombre	Frecuencia
"1st Frequency "	20,8296Hz

Por: Marcela García y José Rodríguez

En la tabla 16 se muestra el resultado de la frecuencia armónica obtenida por la simulación en ANSYS, en la tabla 17 se muestra el resultado de la frecuencia, obtenida por el ensayo dinámico; donde se observa que la frecuencia obtenida en el ANSYS y la frecuencia obtenida por el ensayo dinámico; es similar; presentando un error (calculado con la ecuación 6) del 21,09%. Esto quiere decir, que el valor hallado con la simulación en el Ansys, estuvo cerca al valor obtenido por el ensayo dinámico realizado en el Shaker.

4.5. TEFLÓN

Ensayo 1:

$$Di = 0,01234 \text{ m}$$

$$Df = 0,01075 \text{ m}$$

$$Li = 0,12068 \text{ m}$$

$$Lf = 0,14447 \text{ m}$$

$$Ai = \frac{\pi}{4} \cdot Di^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,01234^2 = 1,195 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Af = \frac{\pi}{4} \cdot Df^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,01075^2 = 9,076 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\%RA = \frac{Ai - Af}{Ai} \cdot 100\% = \frac{1,195 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 - 9,076 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2}{1,195 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} \cdot 100\%$$

$$\%RA (\text{Ensayo 1}) = 24,05 \%$$

$$\% \text{Elongacion} = \frac{Lf - Li}{Li} \cdot 100\% = \frac{0,14447 \text{ m} - 0,12068 \text{ m}}{0,12068 \text{ m}} \cdot 100\%$$

$$\% \text{Elongacion} (\text{Ensayo 1}) = 19,71 \%$$

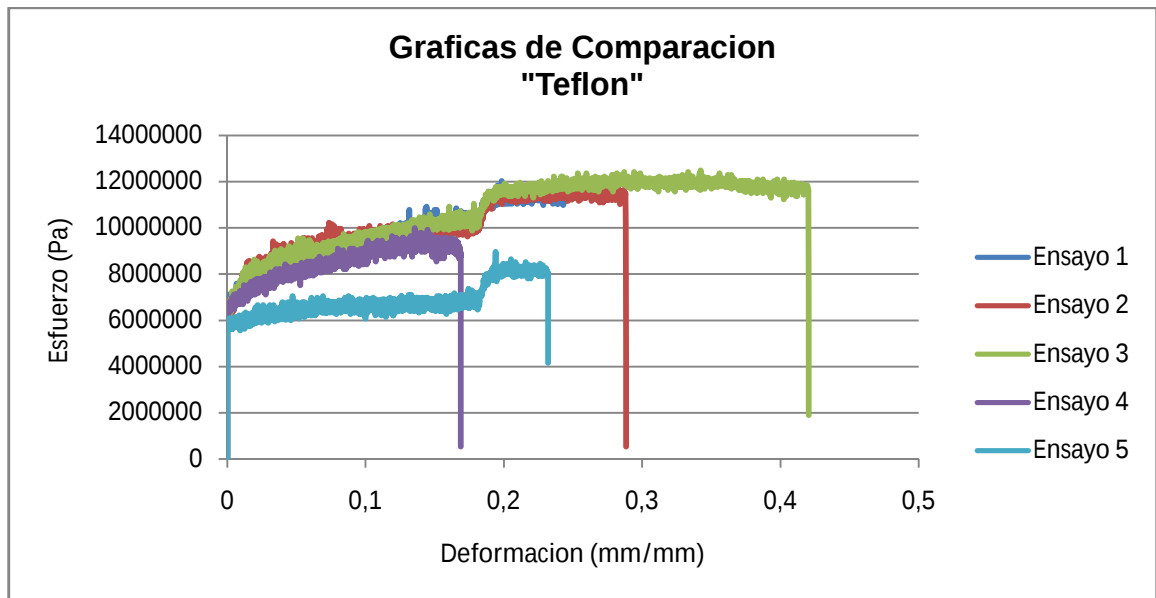
4.5.1. Promedio de Porcentaje de Reducción de Área del Teflón

$$Teflon = \frac{28,72 + 37,95 + 14,52 + 23,71}{4} \cdot 100\% = 26,22\%$$

4.5.2. Promedio del Porcentaje de Elongación del Teflón

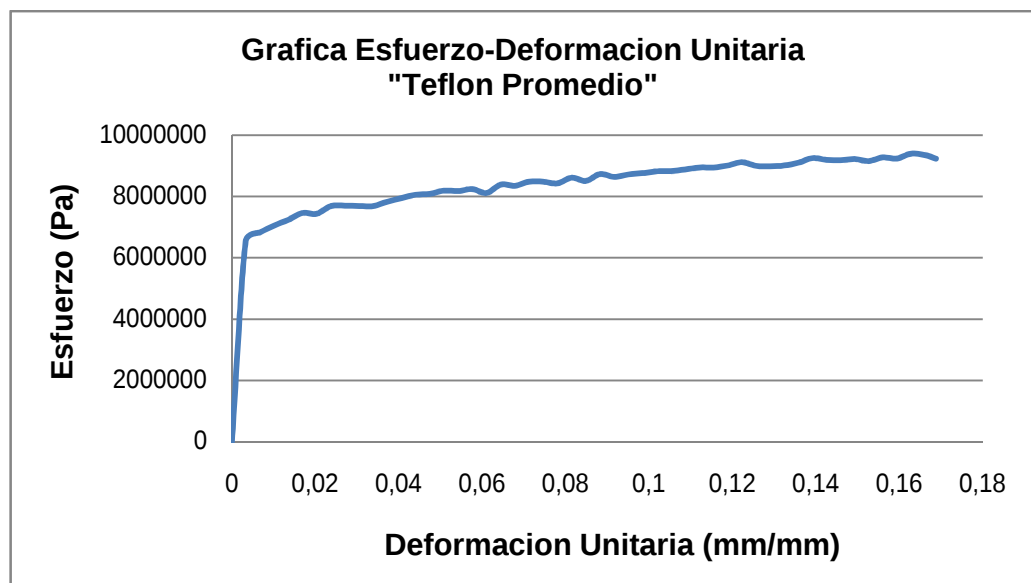
$$Teflon = \frac{24,23 + 32,55 + 16,55 + 25,08}{4} \cdot 100\% = 24,60\%$$

Figura 44. Grafica Esfuerzo vs Deformación unitaria del teflón



Por: Marcela García y José Rodríguez

Figura 45. Grafica Esfuerzo vs Deformación unitaria del teflón promedio



Por: Marcela García y José Rodríguez

En la figura 44 se puede observar que el resultado de las curvas del teflón, no fueron uniformes, debido a que posiblemente hubo errores de manufactura y de la calidad de los polímeros adquiridos, ya que no se pudo contar con un buen acabado superficial y un análisis microscópico, además se puede asumir que al ejecutar el ensayo se pudo resbalar de la mordazas la probeta.

En la figura 45 en la curva esfuerzo-deformación unitaria se determinan las propiedades mecánicas como lo son modulo de elasticidad, que se halla mediante la pendiente en la parte elástica de la curva. El esfuerzo de fluencia, se halla utilizando una deformación permanente del 0,2%. Al comparar los resultados del esfuerzo máximo hallado experimentalmente con la curva de la figura 42, con los datos teóricos encontrados en la bibliografía; se llego a la conclusión que el valor obtenido no es confiable, ya que los valores obtenidos no son cercanos y tienen un porcentaje de error del 80%.

4.5.3. Modulo de Elasticidad del Teflón

De la Ecuación 3, se halla:

$$E_{teflon} = \frac{7233674,177}{0,0135218} = 0,53 \text{ GPa}$$

4.5.4. Porcentaje de error del Modulo de elasticidad del Teflón

$$E_{T.Teflon} = 0,39 \text{ Gpa}$$

De la ecuación 6:

$$\% \text{ de Error del } E_{teflon} = \frac{0,53-0,39}{0,39} \cdot 100\% = 35 \%$$

4.5.5. Porcentaje de Error de la Resistencia Máxima del Teflón

Resistencia Máxima teórica del Teflón = 48263250 Pa

Resistencia Máxima experimental del Teflón=9389556,751 Pa

De la ecuación 6:

$$\% \text{ de Error de la } R_{max.teflon} = \frac{9389556,75 - 48263250}{48263250} \cdot 100\% = 80\%$$

A continuación se relacionan los datos obtenidos en la tabla 18

Tabla 18. Datos obtenidos del Teflón

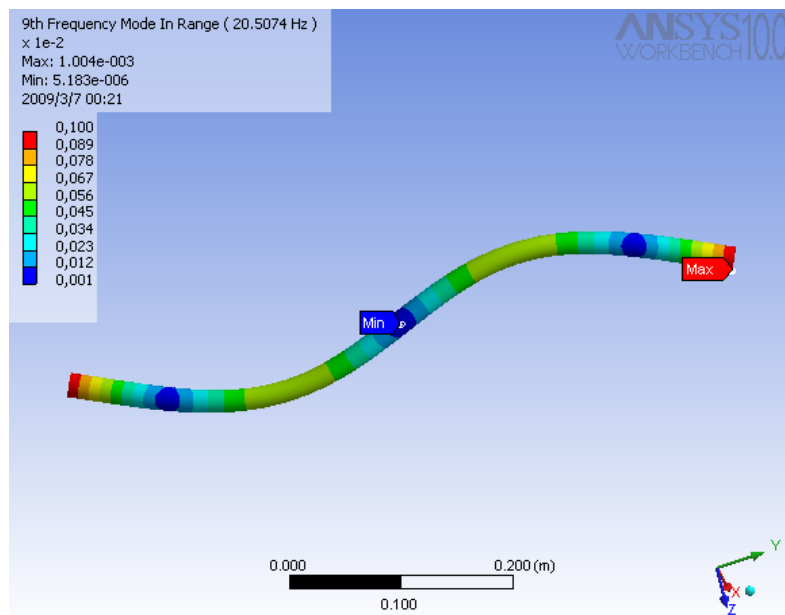
Valor \ Ensayo	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayos Prom.
Di (m)	0,01234	0,0122	0,01234	0,01206	0,01247	X
Df (m)	0,01075	0,0103	0,00972	0,1115	0,01093	X
Li (m)	0,12068	0,12233	0,12233	0,12005	0,12138	X
Lf (m)	0,14447	0,15373	0,16215	0,13991	0,15183	X
Ai (m²)	$1,195 \cdot 10^{-4}$	$1,168 \cdot 10^{-4}$	$1,195 \cdot 10^{-4}$	$1,142 \cdot 10^{-4}$	$1,221 \cdot 10^{-4}$	X
Af (m²)	$9,076 \cdot 10^{-5}$	$8,332 \cdot 10^{-5}$	$7,420 \cdot 10^{-5}$	$9,764 \cdot 10^{-5}$	$9,382 \cdot 10^{-5}$	X
%RA	24,05	28,72	37,95	14,52	23,17	26.22
% Elongación	19,71	24,23	32,55	16,55	25,08	24.60
%Error Modulo de Elasticidad	x	x	x	x	x	35
Esfuerzo de Fluencia	x	x	x	x	x	7,2
Coeficiente de Poisson	x	x	x	x	x	0,34
% Error de la Resistencia Max.	x	x	x	x	x	80

Por: Marcela García y José Rodríguez

De acuerdo a los resultados obtenidos de las propiedades mecánicas (ver tabla 15), se puede observar en los resultados obtenidos de los ensayos se pudo observar que el porcentaje de elongación es de 24,60% y el porcentaje de reducción de área de 26,22%, esto indica que el material nylon ensayado es dúctil.. El coeficiente de Poisson de 0,34 indica que el la deformación unitaria lateral esta a 34% de la deformación unitaria longitudinal. El valor 7,2 Mpa del esfuerzo de fluencia indica la carga que el teflón soporta antes de presentar una deformación permanente. Debido a que el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo máximo de tensión son bajos se considera que el Teflón es un material de baja Resistencia Mecánica.

4.5.6. *Análisis del ensayo Dinámico del Teflón.*

Figura 46. Armónico encontrado por la simulación del software ANSYS Workbench 10 para el Teflón



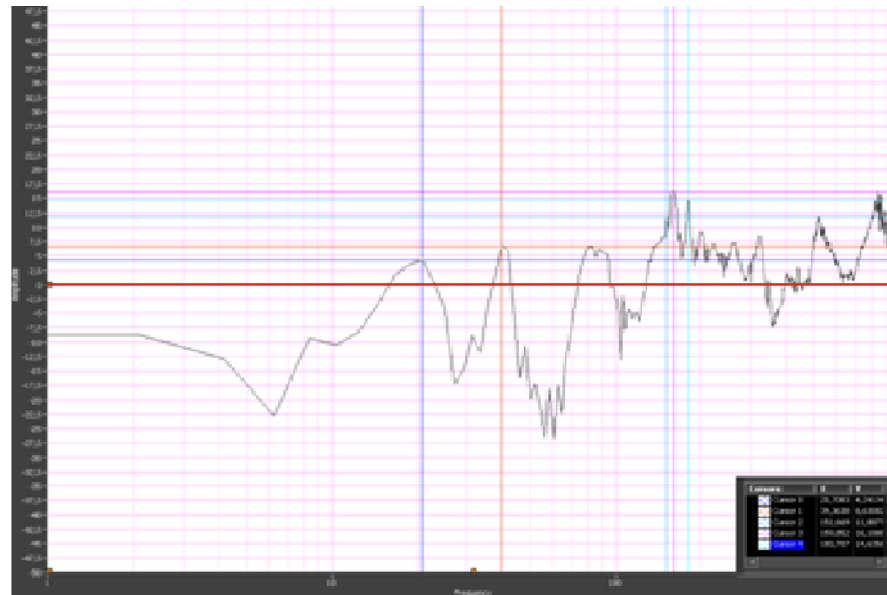
Fuente: Software ANSYS Workbench 10.

Tabla 19. Valor de la Frecuencia Natural Teórica del Teflón

Nombre	Frecuencia
"1th Frequency Mode In Range"	20,5074Hz

Por: Marcela García y José Rodríguez

Figura 47. Frecuencia de Respuesta del ensayo dinámico del Teflón simulado en el software LABVIEW



Fuente: Software LABVIEW

Figura 48. Resultado del ensayo dinámico del Teflón.



Fuente: Software LABVIEW

Tabla 20. Frecuencia Natural del ensayo dinámico del Teflón.

Nombre	Frecuencia
<i>"1st Frequency "</i>	20,7083Hz

Por: Marcela García y José Rodríguez

En la tabla 19 se muestra el resultado de la frecuencia armónica obtenida por la simulación en ANSYS, en la tabla 20 se muestra el resultado de la frecuencia, obtenida por el ensayo dinámico; donde se observa que la frecuencia obtenida en el ANSYS y la frecuencia obtenida por el ensayo dinámico; es similar; presentando un error (calculado con la ecuación 6) del 0,979%. Esto quiere decir, que el valor hallado con la simulación en el Ansys, estuvo cerca al valor obtenido por el ensayo dinámico realizado en el Shaker.

5. CONCLUSIONES

- Al Determinar el porcentaje de elongación y porcentaje de reducción de Área, se concluye que los 5 materiales poliméricos son dúctiles, con esta información se puede diseñar componentes sujetos a cargas dinámicas y fabricar componentes poliméricos para moldear formas sin romper los materiales en el proceso.
- Los valores del Esfuerzo de fluencia y la resistencia a la tensión del Polietileno de alta y baja densidad, del Nylon, del poliuretano y del Teflón, muestran una baja Resistencia Mecánica, lo que descarta su uso en piezas sometidas a elevadas cargas.
- Las curvas de esfuerzo vs deformación unitaria de ingeniería, permite conocer el comportamiento de las propiedades mecánicas de los material; lo que suministra información necesaria, para el diseño y elaboración de piezas en esta clase de materiales.
- La Maquina Universal de la Universidad Pontificia Bolivariana, no es apta para la realización de ensayos de materiales poliméricos que posean un alto grado de porcentaje de elongación.

RECOMENDACIONES

- En un próximo proyecto relacionado con ensayos de tensión de materiales poliméricos, se hace necesario, ejecutar los ensayos en una maquina universal que tenga un mayor desplazamiento de carrera, que la de la maquina universal de la Universidad Pontificia Bolivariana.
- Tratar de buscar algún tipo de financiación, para así poder contratar un personal altamente calificado para la realización de las probetas de materiales poliméricos.
- Contratar un servicio especializado, en el análisis microscópico del acabado superficial y estructural, para ejecutárselo a cada material.
- Antes de la ejecución de los ensayos dinámicos, se hace necesario la realización de un curso de manejo de los equipos, como los son: el shaker, el DAQ, acelerómetro y el software Labview; para la correcta ejecución de los ensayos.

BIBLIOGRAFIA

1. **Corporation, Microsoft.** Polímero. s.l. : Microsoft Student Enciclopedia Encarta, 2009, 2009.
2. **E.Larrode.** *Materiales Compuestos.* s.l. : Reverte, 2000
3. **Donald R Askeland, Pradeep P. Phule.** *Ciencia e ingeniería de los materiales.* 4. s.l. : Cengage Learning Editores, 2005.
4. **Smith, William F.** *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales.* 4. s.l. : McGraw-Hill, 2006
5. **Robert L. Mott, P.E.** *Diseño de elementos de Máquinas.* 4. s.l.: Prentice-Hall México, 2006