

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES
AVANZADOS, S.C.**



MAESTRÍA EN NANOTECNOLOGÍA

**“RECICLAJE DE FIBRA DE BRONCE MEDIANTE LA FORMACIÓN DE
COMPOSITES CON MATRIZ EPÓXICA”**

Tesis que para obtener el grado en Maestría en Nanotecnología

Presenta

Martha Susana Casas Mazón

Asesor de Tesis: Dr. Erasto Armando Zaragoza Contreras

Chihuahua, Chihuahua a Junio, 2016

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Tecnológica de León por el apoyo en la realización de este trabajo.

Al CIMAV y a todos los que apoyaron para la realización de la experimentación:

M.C. Claudia Alejandra Hernández Escobar

M.C. Mónica Elvira Mendoza Duarte

como a mi director de tesis el Doctor Erasto Armando Zaragoza Contreras.

A mis padres por todo su apoyo, a mi esposo Ricardo e hijas, Frida y Romina por toda su amor y comprensión.

ÍNDICE

ÍNDICE	3
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE ECUACIONES	9
RESUMEN	12
ABSTRACT	14
CAPITULO I	16
1 INTRODUCCIÓN	17
1.1 ANTECEDENTES	19
1.2 MARCO TEÓRICO	25
1.2.1 RESINAS EPÓXICAS	25
1.2.2 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	27
1.2.3 ALEACIONES	28
1.2.4 BRONCES COBRE-ESTAÑO	29
1.2.5 MATERIALES COMPUESTOS	29
1.2.6 MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS	32
1.2.7 PROPIEDADES ELÉCTRICAS	32

1.2.8 LEY DE OHM	32
1.2.9 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	33
CAPITULO II	35
2. JUSTIFICACIÓN	36
2.1 HIPÓTESIS	37
2.2 OBJETIVOS	38
2.2.1 OBJETIVO GENERAL	38
2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	38
CAPÍTULO III	39
3. MATERIALES Y MÉTODOS	40
3.1 MATERIALES	40
3.2 MÉTODOS	41
3.2.1 Obtención de tamaños de limadura de bronce	41
3.2.2 Limpieza de fibra	41
3.2.3 Medición de tamaño de fibra	42
3.2.4 Fabricación de probetas	43
3.2.5 Pruebas de conductividad	45
3.2.6 Pruebas mecánicas	47

3.2.6.1 Pruebas de Tensión	47
3.2.6.1 Pruebas de DMA	48
CAPITULO IV	50
4. RESULTADOS	51
4.1 Medición de tamaño de fibra	51
4.2 Obtención de probetas	55
4.3 Medición de conductividad	56
4.4 Pruebas de tensión	62
4.5 Pruebas DMA	67
CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	75
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	76
ANEXOS	81

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Reacción entre fenol y formaldehido	25
Figura 2. Reacción de epiclohidrida e isómero	26
Figura 3. Comportamiento esfuerzo-deformación de los polímeros frágil (curva A), plástico (curva B) y con elevada elasticidad (elastómero) (curva C)	28
Figura 4. Esquema de tipos de materiales compuestos	31
Figura 5. Microscopio Óptico Image-Proplus, Olympus SZH10 con lente 1X.5	43
Figura 6. multímetro Digital de cuatro puntas, marca Agilent LX1 modelo 34411A	46
Figura 7. Máquina Universal Istrom Sistem IX	48
Figura 8. Equipo TA Instruments modelo RSA3.	49
Figura 9. Muestra A, limaduras de bronce resultado de tamizado con malla tamaño 25.	51
Figura 10. Muestra B, limaduras de bronce resultado de tamizado con malla tamaño 35.	52
Figura 11. Muestra C, limaduras de bronce resultado de tamizado con malla tamaño 50	52
Figura 12. Relaciones de aspecto de muestras de fibra en tamaños A, B y C.	54
Figura 13. Probetas a) Muestra tamaño A con 25% de fibra (A25), b) blanco 0% de fibra (000).	55
Figura 14. Resultados de resistividad de muestra A de 5% a 20% de fibra de bronce	57

Figura 15. Resultados de resistividad de Muestra B de 5% a 20% de fibra de bronce	57
Figura 16. Resultados de resistividad de Muestra C de 5% a 20% de fibra de bronce.	57
Figura 17. Comparación de conductividad en muestras	59
Figura 18. Probetas para prueba en máquina universal	60
Figura 19. Resultados de pruebas de tensión de la Muestra A	63
Figura 20. Graficas de resultados de pruebas de tensión a muestra B	64
Figura 21. Graficas de resultados de pruebas de tensión a muestra C	65
Figura 22. Comparación de resultados de prueba de tensión en muestras	66
Figura 23. Prueba Cedencia – Recuperación a probetas con tamaño de fibra A	68
Figura 24. Prueba Cedencia – Recuperación a probetas con tamaño de fibra B	69
Figura 25. Prueba Cedencia – Recuperación a probetas con tamaño de fibra C	70
Figura 26. Gráfica de relajación de esfuerzos de muestra A de 0% a 25% de fibra	71
Figura 27. Gráfica de relajación de esfuerzos de muestra B de 0% a 25% de fibra	72
Figura 28. Gráfica de relajación de esfuerzos de muestra C de 0% a 25% de fibra.	73

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Características de bronce	40
Tabla 2. Condiciones de tomas de tamaño de muestra en Microscopio Óptico Image-Proplus, Olympus SZH10	42
Tabla 3. Nomenclatura de probetas	44
Tabla 4. Condiciones de multímetro Agilent LX1 modelo 34411A.	46
Tabla 5. Condiciones específicas de la máquina universal Istrom Serie IX para pruebas de tensión en probetas experimentales.	47
Tabla 6. Condiciones específicas de pruebas de DMA a probetas de prueba en máquina TA Instruments modelo RSA3	48
Tabla 7. Mediciones de fibras de bronce.	53
Tabla 8. Estructura del bisfenol F®™ Trademark of The Dow Chemical Company	80
Tabla 9. Propiedades de Ancamine 2489	80

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ley de Ohm	31
Ecuación 2. Resistividad	31
Ecuación 3. Conductividad eléctrica	31

ABREVIATURAS

DMA Análisis mecánico dinámico

AC Corriente alterna

RESUMEN

Se estudió un composito formado por una resina epóxica bisphenol F y limaduras de bronce obtenidas de la rebaba de fabricación de llaves, se generaron probetas de prueba con porcentajes de adición de 5%, 10%, 15% y 20% de contenido en peso de fibras metálicas en tres tamaños diferentes descritos como Muestra A, Muestra B y Muestra C. Se caracterizaron por medio de pruebas de resistividad, tensión y análisis mecánico dinámico (DMA).

Primeramente se utilizó microscopia para obtener el tamaño de cada muestra y se determinó la relación de aspecto el cual es similar en cada tamaño de fibra con resultados de 5.4 para la muestra A, 5.3 para Muestra B y 5.9 para la muestra C.

Para la determinación de conductividad se realizaron pruebas en multímetro con la técnica de cuatro puntas en el que se observó al aumentar el porcentaje de fibra se presenta mayor conductividad en cada una de las muestra observándose que porcentaje influye directamente en los resultados. El tamaño de la fibra influyo en la conductividad varia conforme relación de. Las propiedades mecánicas fueron analizadas por medio de mediciones de la resistencia a la ruptura con cargas axiales en la que disminuye esta resistencia al aumentar la carga de fibra en las probetas en todos los tamaños y porcentajes de fibra. La resistencia mecánica disminuye por la baja adherencia interfacial entre el refuerzo y la matriz por la intercara entre los

materiales por una diferencia entre la resistencia a la ruptura por lo que se generan discontinuidades.

En las pruebas mecánico dinámicas se observó aumento en la cedencia-recuperación por carga de un 30% para probetas de 20%. La fibra tiene una influencia directa en la deformación de las probetas ya que la deformación disminuye en todas las pruebas con un porcentaje de fibra. Con la prueba de barrido de deformación se comprobaron los resultados de tensión.

Como resultado se obtuvo un composito conductor en el que por cada aumento de porcentaje de fibra es mejor la conducción en el composito, teniendo mejor conducción en fibras más pequeñas y pérdida de propiedades mecánicas por mala interacción entre matriz y fibra.

ABTRACT

A composite comprising an epoxy bisphenol F resin and grindings bronze obtained from the burr manufacture of keys was studied, test specimens were generated with percentages adding 5%, 10%, 15% and 20% weight content metal fibers in three different sizes described as Sample A, Sample B and Sample C. were characterized by resistivity tests, tension and dynamic mechanical analysis (DMA).

First microscopy was used to obtain the size of each sample and the aspect ratio which is similar in each fiber size of 5.4 results for Sample A was determined, 5.3 for Sample B and 5.9 for sample C.

For determination of conductivity tests were performed on multimeter with four-point technique which was observed to increase the percentage of fiber greater conductivity shows each obsrvandose that percentage directly affects the results is presented. The fiber size influenced the conductivity varies according ratio. The mechanical properties were analyzed by measurements of tensile strength with axial loads in which this resistance decreases as the load increases fiber specimens in all sizes and percentages of fiber. The mechanical strength decreases by low interfacial adhesion between reinforcement and matrix materials the interface between a difference between breaking strength so discontinuities are generated.

In dynamic mechanical testing it observed increase in yield strength-recovery charging 30% to 20% specimens. The fiber has a direct influence on the deformation of the specimen and the deformation decreases in all tests with a fiber percentage. With the strain sweep test results were checked voltage.

Resulting in a composite conductor in which for each percentage increase fiber is better conduction in the composite having better conduction loss smaller and poor mechanical properties by interaction between fibers and fiber matrix was obtained.

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad es de suma importancia el reutilizar los materiales para reducir la generación de desechos. Esto ayuda al mejoramiento del medio ambiente y a la búsqueda del aprovechamiento de los recursos disponibles. Varios de estos materiales los encontramos fácilmente en la misma fabricación de productos tan comunes como el de las llaves para abrir cerraduras y en su fabricación se crea viruta de bronce que es desechada. [28]

Los materiales naturales no siempre cubren las necesidades que se presentan en el desarrollo de nuevas tecnologías. Es ahí donde surgen los materiales compuestos que se generan al combinar diferentes materiales entre sí para obtener características que no se obtendrían con materiales convencionales. Como resultado tenemos un nuevo material con propiedades de los materiales que lo componen en el que sus debilidades se compensan con las fortalezas del otro para cubrir los requerimientos necesarios en una situación específica. En la búsqueda de su reciclamiento se plantea crear un material compuesto para la reutilización y aprovechamiento de ésta. Al obtener mejores materiales las aplicaciones están en industrias como la electrónica, aeronáutica, etc. [27][32] [33]

Los metales son los mejores conductores de electricidad pero tienden a ser frágiles por su misma composición, los polímeros son malos conductores eléctricos

pero en su extensa gama podemos encontrar buenas características mecánicas.
[21]

Al agregar un metal a una matriz polimérica se planea obtener un material conductor mejorando las características mecánicas del metal para un mejor aprovechamiento de las características de ambos elementos y así obtener el material deseado.

Para comprobar las características mecánicas se realizaron pruebas de tensión y análisis mecánico dinámico (DMA). Para la caracterización de conductividad eléctrica se aplicaron mediciones en multímetro por el método de cuatro puntas.

1.1 ANTECEDENTES

Bloor y *col.*, en 2006 reportaron que el comportamiento eléctrico se ve afectado por las dimensiones de las probetas que se utilizan en compuesto de matriz elastómera con polvo de níquel-nanoestructurado. [1]

Shahinpoor y *col.*, en 1998 demostró la aplicación que se pueden tener con ion-exchange polymer-metal composites que se compone de una membrana de intercambio iónico perfluorado (IEM) y un metal noble tal como oro o platino, en los que se encuentran la creación de sensores biomédicos en los que se mostró que estos actuadores presentan una buena fuerza de peso, características en la presencia de bajos voltajes aplicados. [2]

Boudenne y *col.*, en 2004 estudiaron una matriz de polipropileno relleno de aluminio (ligeramente oxidada) y cobre en dos diferentes porcentajes de cada fase. Se generó mayor conductividad térmica en muestras de cobre que en el aluminio por la ligera oxidación en este. Las características dieléctricas se conservaron en ambas muestras. [3]

Struèmpler en 1999, observan que dependiendo de la estructura del refuerzo, ya sea su incrustación en forma de partículas o barras influye en el resultado ya que, tanto la matriz como la fase, tienen un fuerte rechazo y esto provoca que las características que se desean no sean siempre las esperadas. Por otro lado, el

proceso de fabricación, como prensado y síntesis pueden tener grandes diferencias en la conductividad eléctrica de las muestras. [4]

Rybak en 2009 realizó una investigación con matriz de polietileno de alta densidad con fase de plata en una concentración de hasta 17.4 % manteniendo propiedades mecánicas requeridas con resistividad baja a temperatura ambiente. Estas propiedades se mantienen en procesos de calentamiento y enfriamiento. [5]

Cioffi y col., en 2005 estudiaron recubrimientos poliméricos nanoestructurados para una prueba experimental con la capacidad para liberar las especies de metal, en este caso plata, de una manera controlada para retrasar o incluso inhibir el crecimiento de los organismos vivos, tales como hongos y otros microorganismos patógenos. El comportamiento biológico también se ha correlacionado de manera sistemática a las propiedades del material clave, como la carga de nanopartículas y la capacidad de liberación. [6]

Psarrasa en 2003, estudió una matriz de resina epóxico con micropartículas de hierro dispersas al azar, y se midieron sus espectros dieléctricos en el rango de frecuencia 5 Hz-13 MHz en intervalo de temperatura desde ambiente hasta 140 °C. A bajas frecuencias la conductividad tiende a ser constante a comparación que si es mayor, por lo que se vuelve fuertemente dependiente de ésta. [7]

Boudennea y col., en 2004 estudiaron una matriz de polipropileno cargada con partículas de cobre de dos tamaños diferentes, demostrando que hay mayor

capacidad de transporte de calor de los materiales compuestos rellenos de las partículas con tamaños más pequeños. Las investigaciones de conductividad eléctrica mostraron que el tamaño de las cargas tiene influencia también en la concentración de percolación. Se mostró que el modelo de Agari proporciona una buena estimación de la conductividad térmica de los materiales compuestos para todas las concentraciones de relleno [8]

Mamunya y *col.*, en 2002 estudiaron la conductividad térmica y eléctrica de resinas epáticas (ER) y poli(cloruro de vinilo) (PVC) con polvos metálicos de cobre y níquel, en la que las condiciones de preparación de material compuesto permitieron la formación de una distribución al azar de partículas metálicas en el volumen de la matriz de polímero, se explica la dependencia de la concentración para la conductividad eléctrica y térmica. La teoría de la percolación es válido para los sistemas de distribución aleatoria con carga dispersada, pero no para el sistema de PVC-Ni. El umbral de percolación depende tanto de forma de las partículas y el tipo de distribución espacial (aleatorio u ordenado). En contraste con la conductividad eléctrica, la dependencia de la concentración de la conductividad térmica no muestra ningún salto en la región umbral de percolación. Para la descripción de la dependencia de la concentración de la conductividad eléctrica y térmica, el parámetro clave es el factor de embalaje F . [9]

Weidenfeller y *col.*, en 2003 estudiaron composites de polipropileno (PP) con diversas cargas en diferentes concentraciones (hasta 50% en volumen) que se prepararon por un proceso de moldeo por inyección para estudiar la evolución de

las propiedades como una función del contenido de carga. Se utilizaron materiales de relleno estándar como magnetita, pirita, talco, cobre, ferrita de estroncio y fibras de vidrio. Se pudo observar que la conductividad térmica del cobre lleno de polipropileno es, a pesar de la muy alta conductividad del cobre puro, inferior al del talco de materiales compuestos de PP debido a una pobre interconectividad de las partículas de Cu. [10]

Luyt y *col.*, en 2005 estudiaron compuestos de polietileno de baja densidad (LDPE) y polietileno de baja densidad lineal (LLDPE) con diferentes contenidos de cobre. Su experimentación llegó a determinar que la estabilidad térmica del LDPE lleno de polvo de cobre es mejor que para el polímero sin carga. Los compuestos mostraron propiedades mecánicas más pobres (excepto el módulo de Young) en comparación con los polímeros sin carga. Las conductividades térmicas y eléctricas de los materiales compuestos fueron mayores que la de la matriz de polietileno puro, tanto para el LDPE y LLDPE. A partir de estos resultados se determinó la concentración de percolación como 18,7 vol. % de cobre para ambos polímeros. [11]

Chen y *col.*, en 2001 estudiaron compuestos epóxicos con fibras de carbono para examinar las propiedades termofísicas a temperatura ambiente. Se obtuvo una conductividad térmica muy alta con un refuerzo del 56% en volumen. Pero las características eléctricas son disminuidas por el epoxico ya que es eléctricamente aislante. [12]

Psaras y *col.*, en 2001 estudiaron compuestos de resinas epóxicas con partículas de níquel en diferentes porcentajes. Sus espectros dieléctricos fueron medidos en la frecuencia recorren 5 hz - 13 MHz y el intervalo de temperatura desde la ambiente a 140°C en la que encontraron que se encuentran dos procesos de relajación en los espectros dieléctricos. La conductividad en AC depende de la frecuencia y temperatura. [13]

Bishay y *col.*, en 2010 estudiaron las propiedades eléctricas, mecánicas y termales de cloruro de polivinilo (el PVC) en compuestos llenos de polvo de aluminio que se varió de 0 a 40% de peso han estado preparados. Llegaron a la conclusión de que la conductividad aumenta con muy poco aumento de la concentración del contenido del relleno y depende la temperatura de medición. [14]

Psarras en 2005 estudió una matriz de bisfenol y una fase de partículas de hierro en la que, en pequeñas concentraciones, se tenía aislamiento pero la conductividad gradualmente aumenta con el contenido de hierro en cualquier temperatura que se examinó, se trabajó en las mediciones en campo de AC y la variación de frecuencia. Se concluyó que el metal de refuerzo, si no están en contacto, es necesaria una energía de activación para producir un par positivamente; por otro lado, si las partículas conductoras están en el contacto, dentro de la matriz de aislamiento, los caminos de filtración deberían existir por el sistema entero y esperan que la conducción ocurra. [15]

Struémpler y *col.* (1999) estudiaron una visión general de las principales propiedades físicas del polímero y el relleno que determinan la conductividad de materiales compuestos poliméricos. Resulta que muchas características del refuerzo, así como de la matriz tienen una fuerte influencia en los resultados. [16]

1.2 MARCO TEÓRICO

1.2.1 RESINAS EPÓXICAS

El bisfenol F se obtiene a partir de la reacción entre fenol y formaldehído, encontrándose en exceso el primero. El producto resultante es una mezcla de isómeros como se muestra en la Figura 1:

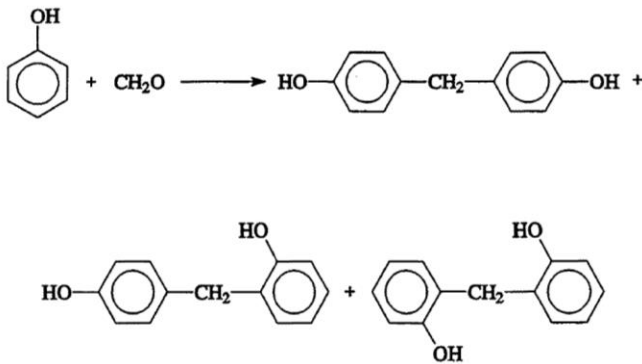


Figura 1. Reacción entre fenol y formaldehído.

Si esta mezcla se hace reaccionar con un exceso de epíclorhidrina, en presencia de hidróxido sódico:

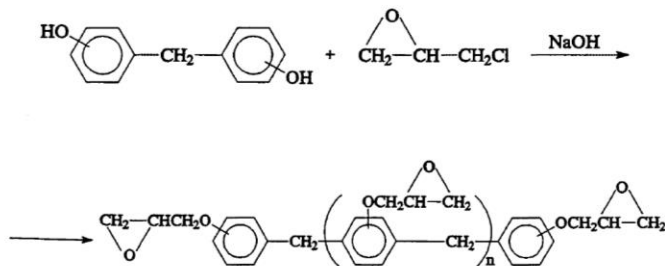


Figura 2. Reacción de epichlorhidrida e isómero

Se obtiene la base epóxica de bisfenol F. El grado de polimerización es aproximadamente de 0,15. Su viscosidad es inferior a las obtenidas a partir de bisfenol A, pero su funcionalidad es mayor (hay más grupos epoxi por molécula). [17]

Las resinas epóxicas proporcionan propiedades mecánicas mejoradas y resitencia ambiental exepcional. La mayoría de los comuestos utilizados en la industria de eronaves se hacen con resinas epóxicas debido a sus propiedades superiores. Las resinas epóxicas tienen un color ámbar característico y por lo general pueden curarse a temperaturas ambiente con la adición de un endurecedor, aunque el proceso puede acelerarse al calentarlo [43]

1.2.2 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas de los polímeros se especifican con los mismos parámetros para los metales: módulo elástico y resistencia a la tracción. El ensayo esfuerzo-deformación se emplea para caracterizar parámetros mecánicos de muchos materiales poliméricos. La mayoría de las características mecánicas de los polímeros son muy sensibles a la velocidad de deformación, a la temperatura y a la naturaleza química del medio (presencia de agua, oxígeno, disolventes orgánicos, etc.).

Los materiales poliméricos presentan tres tipos distintos de comportamiento esfuerzo-deformación, como se muestra en la Figura 3. La curva A corresponde al comportamiento esfuerzo-deformación de un polímero frágil, ya que se rompe cuando se deforma elásticamente. El comportamiento del material representado por la curva B es parecido al de los metales: después de la deformación elástica inicial el material fluye y luego se deforma plásticamente. Finalmente, el comportamiento descrito en la curva C es totalmente elástico. La elasticidad es propia de los polímeros denominados elastómeros. [18]

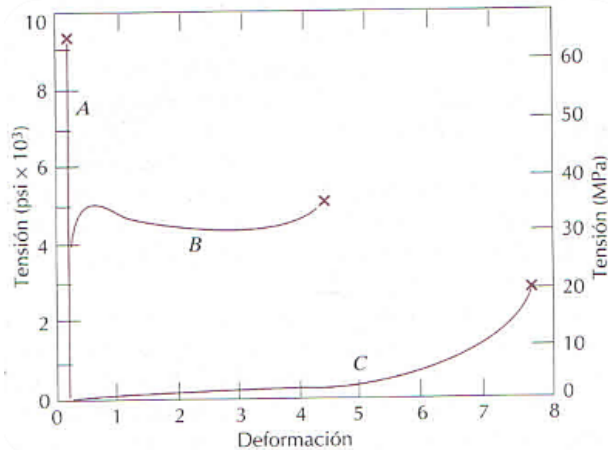


Figura 3. Comportamiento esfuerzo-deformación de los polímeros frágil (curva A), plástico (curva B) y con elevada elasticidad (elastómero) (curva C)

El conocimiento de los mecanismos de deformación contribuye a controlar las características mecánicas de estos materiales. En este sentido, existen dos modelos de deformación diferentes. Uno de ellos implica la deformación plástica que ocurre en los polímeros semicristalinos. La característica más importante de estos materiales suele ser la resistencia. [19]

1.2.3 ALEACIONES

Los materiales metálicos comúnmente usados son soluciones sólidas de dos o más metales elementales que se integran en la red cristalina principalmente de manera situacional. Es posible realizar estas mezclas de varias maneras, pero casi siempre se obtiene por la unión de metales por arriba de su punto de fusión. Esa

solución sólida de metales o metaloides se denomina aleación. Las aleaciones conceden propiedades particularmente deseables en mayor proporción o permiten una mejor combinación de propiedades. Estas aleaciones se clasifican en ferrosas y no ferrosas.

Las aleaciones no ferrosas son aquellas que poseen alguno elemento diferente del hierro como constituyente principal o matriz. De la mayoría de las aleaciones no ferrosas se pueden mencionar las aleaciones de aluminio, cobre, magnesio, níquel estaño, plomo y zinc. [20]

1.2.4 BRONCES COBRE-ESTAÑO

Las aleaciones de cobre-estaño, que reciben apropiadamente el nombre de bronce de estaño, pero a menudo se designan como bronce de fósforo, se producen agregando al cobre entre 1 y 10 por ciento de estaño para formar aleaciones endurecidas por solución sólida. Los bronce de estaño forjado son más resistentes a la corrosión, pero son más caros. [19]

1.2.5 MATERIALES COMPUESTOS

En términos generales, se considera que un material compuesto es un material multifase que conserva una proporción significativa de las propiedades de las fases constituyentes de la manera que presente la mejor combinación posible.

De acuerdo con este principio de acción combinada, las mejores propiedades se obtienen por la combinación razonada de dos o más materiales diferentes. Muchos materiales compuestos tienen propiedades excepcionales. [19]

La mayoría de los materiales compuestos están formados por dos fases; una llamada matriz, es continua y rodea a toda la fase, denominada fase dispersa. Las propiedades de los compuestos son función de las propiedades de las fases constituyentes, de sus proporciones relativas y de la geometría de las fases dispersas. "Geometría de la fase dispersa" significa, en este contexto, la forma, tamaño, la distribución y la orientación de las partículas.

La clasificación de los materiales compuestos consta de tres divisiones: compuestos reforzados con partículas, compuestos reforzados con fibras, y compuestos estructurales; además, existen dos subdivisiones para cada una, en la Figura 4 se muestran estos arreglos. Las partículas son equiaxiales (es decir, las dimensiones de las partículas son aproximadamente iguales en todas las direcciones); la fase dispersa de los materiales compuestos reforzados con fibras tienen la geometría de una fibra (es decir, una relación longitud-diámetro muy alta). Los materiales compuestos estructurales son materiales compuestos combinados con materiales homogéneos.

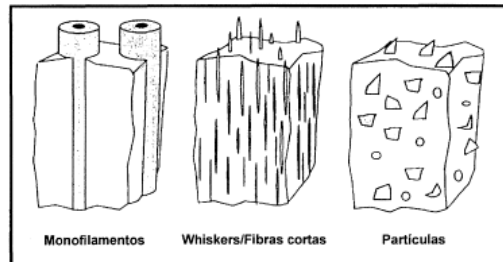


Figura 4. Esquema de tipos de materiales compuestos

Tecnológicamente, los materiales compuestos con fases dispersas en forma de fibras son más importantes. A menudo se diseñan materiales compuestos reforzados con fibras con la finalidad de conseguir elevada resistencia y rigidez a baja densidad. Estas características se expresan mediante los parámetros resistencia específica y módulo específico, que corresponden, respectivamente, a las relaciones entre la resistencia a la tracción y el peso específico y entre el módulo de elasticidad y el peso específico. Utilizando materiales de baja densidad, tanto para la matriz como para las fibras, se fabrican compuestos reforzados con fibras que tienen resistencias y módulos específicos excepcionalmente elevados.

Los materiales compuestos reforzados con fibras se subclasifican por la longitud de la fibra. En el caso de fibras cortas, éstas suelen ser demasiado cortas para conseguir un apreciable aumento de resistencia. [19]

1.2.6 MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS

Tecnológicamente, los materiales compuestos con fases dispersas en forma de fibras son más importantes. A menudo se diseñan materiales compuestos reforzados con fibras con la finalidad de conseguir elevada resistencia y rigidez a baja densidad. Estas características se expresan mediante los parámetros resistencia específica y módulo específico, que corresponden, respectivamente, a las relaciones entre la resistencia a la tracción y el peso específico y entre el módulo de elasticidad y el peso específico. Utilizando materiales de baja densidad, tanto para la matriz como para las fibras, se fabrican compuestos reforzados con fibras que tienen resistencias y módulos específicos excepcionalmente elevados. [21]

1.2.7 PROPIEDADES ELÉCTRICAS

Las propiedades eléctricas de los materiales es la respuesta a la acción de un campo eléctrico aplicado. El fenómeno de la conducción eléctrica y los parámetros por los cuales se expresa se extiende a los metales, semiconductores y aisladores. [21]

1.2.8 LEY DE OHM

Una de las más importantes características eléctricas de un material sólido es la facilidad con la que transmite una corriente eléctrica. La Ley de Ohm relaciona

la corriente, I , o sea el paso de la carga por unidad de tiempo, con el voltaje aplicado, V , Como se observa en la Ecuación 1:

$$V = RI \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde R es la resistencia del material a través del cual pasa la corriente. Las unidades de V , I y R son, respectivamente, voltios (J/C), amperios (C/s), y ohmios (V/A). El valor de R depende de la configuración de la muestra y en muchos materiales es independiente de la corriente. La resistividad, ρ , es independiente de la geometría de la muestra y está relacionada con R mediante la expresión, como se muestra en la Ecuación 2:

$$\rho = \frac{RA}{l} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde l es la distancia entre los dos puntos en que se mide el voltaje y A es el área de la sección perpendicular a la dirección de la corriente. Las unidades de ρ son ohmios-metro ($\Omega\cdot\text{m}$). [21]

1.2.9 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad eléctrica, σ , se utiliza para especificar el carácter eléctrico de un material. Es simplemente el recíproco de la resistividad, lo que podemos observar en la Ecuación 3.

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

Ecuación 3

Esto indica la facilidad con que un material es capaz de conducir una corriente eléctrica. Las unidades de σ son las inversas de $\Omega\cdot m$ [$(\Omega\cdot m)^{-1}$, o bien, mho/m].

Los materiales sólidos muestran un sorprendente intervalo de conductividades eléctricas, el cual se extiende unos 27 órdenes de magnitud; probablemente ninguna otra magnitud física experimenta tan amplia variación. De hecho, una manera de clasificar a los materiales sólidos es según la facilidad o dificultad para conducir la corriente eléctrica; dentro de este tipo de clasificación existen tres grupos: conductores, semiconductores y aisladores. Los metales son buenos conductores, típicamente tienen conductividades del orden 10^7 $(\Omega\cdot m)^{-1}$. En el otro extremo están los materiales con muy bajas conductividades que van desde 10^{-10} a 10^{-20} $(\Omega\cdot m)^{-1}$. Estos son los aisladores eléctricos. Materiales con conductividades intermedias, generalmente entre 10^{-6} y 10^{-4} $(\Omega\cdot m)^{-1}$ se denominan semiconductores. [21]

CAPITULO II

2. JUSTIFICACIÓN

En la fabricación de productos se generan grandes cantidades de desperdicios que pueden ser aprovechados para la generación de nuevos materiales. Al utilizar estos desechos se ayudará en el aprovechamiento de los recursos, actividad de alto impacto en las industrias.

Los materiales conductores son de los principales utilizados en las empresas de manufactura por su amplia aplicación en todos los procesos. Estos materiales tienden a ser fácilmente corroídos por el ambiente en que se encuentran, por el contrario los polímeros no presentan corrosión por lo que se puede generar un buen conductor utilizando resina epóxica y un material metálico.

En estudios anteriores se ha comprobado la conductividad en composites dependiendo de la concentración del refuerzo metálico en matriz polimérica. Por lo que se mejorara la vida útil del conductor eliminando la corrosión sin disminuir las características mecánicas del polímero para compensar las del metal conductor.

En la creación de un compuesto se aprovechará los recursos y se obtendrán mejoras en los elementos que lo componen para aplicaciones de conductores por composites. Por lo tanto es factible el generar un material polimérico con propiedades eléctricas para aplicaciones industriales.

2.1 HIPÓTESIS

En los materiales compositos las características obtenidas son el resultado de la suma de las de cada material que las compone, por lo que al unir un polímero epóxico y un metal se busca un material conductor. Las concentraciones de fase llegan a obtener la conductividad en una matriz aislante dependiendo de su concentración, forma, distribución e incrustación.

Por lo que es posible la elaboración de materiales compuestos conductores a partir de una matriz polimérica no conductora, con cargas de limaduras de bronce recuperadas del desecho en la fabricación de llaves, en la que generamos aprovechamiento de recursos para obtener materia con conductividad eléctrica con características mecánicas de un polímero.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar materiales compuestos de matriz epóxica con limadura de bronce para obtener un material conductor para el reciclaje de limaduras de bronce para la reducción de desechos solidos y aprovechamiento de recurso.

2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Acondicionamiento de limadura de bronce para generar probetas con diferentes concentraciones del mismo en una matriz epóxica.
- Modificación de matriz epóxica en concentraciones en peso de fibra para el análisis de los cambio en las propiedades eléctricas y mecánicas.

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

Comentado [S1]: <http://www.okendo.mx/pro1.html>

Para la generación de la resina epoxica a base de bisfenol F se utilizó como parte A DER 354 que es un bisphenol F sin modificar, de base líquida, y baja viscosidad. Como parte B Ancamine 2489, aducto de amina cicloalifática destinado a ser utilizado con resinas epóxicas líquidas.

Como refuerzo se utilizó bronce en limadura que se generó como rebaba de la fabricación de llaves. Se pasa por un proceso de limpieza para eliminar grasa, polvo u otro contaminante. Este material se utilizó ya que el refuerzo debe tener mejor conducción que la matriz como lo observó Struémpler. En la Tabla 1 se observan sus principales características. [16]

TABLA 1. Características de bronce

Datos para una aleación promedio con 89 % de cobre y 11 % de estaño:	
Densidad	8,90 g/cm ³ .
Punto de fusión	de 830 a 1020 °C
Punto de ebullición	de 2230 a 2420 °C
Coefficiente de temperatura	0,0006 K-1
Resistividad eléctrica	de 14 a 16 µOhm/cm
Coefficiente de expansión térmica	entre 20 y 100 °C ---> 17,00 x 10-6 K-1
Conductividad térmica a 23 °C	: de 42 a 50 Wm-1
Elongación	<65 %
Dureza Brinell	70 a 200
Módulo de elasticidad	80 a 115 GPa
Resistencia a la cizalla	230 a 490 MPa
Resistencia a la tracción	300 a 900 MPa

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Obtención de tamaños de limadura de bronce

Para la obtención de diferentes tamaños de fibras la rebaba de bronce se pasó por un proceso de tamizado con tres tamaños diferentes números de malla:

- Tamizado con malla de número 50(0.297 mm)
- Tamizado con malla de número 35(0.500 mm)
- Tamizado con malla de número 25(0.707 mm)

Por cada tamaño de tamiz se tomo una muestra por lo que se obtuvieron la muestra A con tamiz de malla 50, muestra B de tamiz de malla 35 y muestra C con tamiz de malla 25.

3.2.2 Limpieza de fibras

Las fibras pasaron por un proceso de limpieza para tener una mejor adherencia de la fibra en la matriz que se describe en los siguientes pasos:

- Las fibras se pasaron por un imán para, por medio magnético, retirar las partículas de hierro visibles en las muestras.
- Se realizó un lavado con agua oxigenada para eliminar polvo y por medio de peso se eliminó partículas de plástico.

- Se realizó un lavado en acetona para eliminar la grasa de derivados de petróleo.
- Para contrarrestar la acetona se lava con hexano.
- Por último se seca antes de proceder a la elaboración de probetas.

3.2.3 Medición de tamaño de fibra

Para determinar el tamaño de las fibras de cada muestra se utilizó el Microscopio Óptico Image-Proplus, Olympus SZH10 con lente 1X5. En la Figura 5 se ilustra este equipo. Se tomó el largo y ancho de las fibras en un muestreo de 200 fibras por muestra para así conocer la relación de aspecto. En la Tabla 2 se muestran la condiciones de las tomas.

TABLA 2. Condiciones de tomas de tamaño de muestra en Microscopio Óptico Image-Proplus, Olympus SZH10

VARIABLES DE PRUEBA	UNIDADES
Lente	1X5.
Temperatura	Ambiente



Figura 5. Microscopio Óptico Image-Proplus, Olympus SZH10 con lente 1X.5

3.2.4 Elaboración de probetas

Enseguida de la microscopia las fibras se utilizaron para fabricar probetas experimentales de 6mm de grosor aproximadamente. Cada una de las muestras se utilizó para generar tres diferentes probetas por porcentaje de peso de las fibras (5%, 15% y 25%) por lo que tendremos las nomenclaturas como se muestra en la Tabla 3, para trabajar con estas y así facilitar el manejo de estas probetas.

TABLA 3. Nomenclatura de probetas

Número de probeta	Tamaño de muestra por tamiz	Porcentaje de muestra (%)	Nomenclatura de probeta
1	N/A	0	00
2	A	5	A05
3	A	10	A10
4	A	15	A15
5	A	20	A20
6	B	5	B05
7	B	10	B10
8	B	15	B15
9	B	20	B20
10	C	5	C05
11	C	10	C10
12	C	15	C15
13	C	20	C20

Para generar el blanco se utilizó 100 gramos de Resina epóxica DER 354, como curante 48 gramos de ANCAMINE 2489, y se incluyó desaireante BYK320 en porción de 2.4 mL por probeta. Para el compuesto se utilizó fibra de bronce en porciones de peso siguiendo los pasos siguientes:

1. Se pesó la fibra en los porcentajes establecidos, 5, 10 ,15 y 20 % en peso de cada tamaño (A, B y C).
2. Se pesó la resina, curante y desairante en las porciones para cada probeta según el porcentaje de fibra a utilizar:
3. Se vertió en un vaso de precipitado la cantidad de cada parte anteriormente pasada y se mezcló por medio mecánico a 140 RPM durante 1 min.
4. La mezcla se distribuyó en una placa de madera forrada de papel encerado.
5. Se dejó reposar por 24 h para el proceso de curado.
6. Se desmontan las probetas resultantes y se cortan en tiras de 2 cm para pruebas experimentales.

3.2.5 Pruebas de conductividad

Después del proceso de curado de las probetas se realizaron pruebas de conductividad eléctrica, por lo que a las probetas se les toman 6 tomas dobles en tres tiras diferentes. El equipo utilizado fue un multímetro Digital marca Agilent LX1 modelo 34411A, utilizando el método de las cuatro puntas. Las condiciones se muestran en la Tabla 4.

TABLA 4. Condiciones de multímetro Agilent LX1 modelo 34411A.

VARIABLES DE PRUEBA	UNIDADES
Tomas por probeta	6
Temperatura	ambiente
Tamaño de probeta	2x6 cm
Formula	$p = (2\pi) * (s) * \left(\frac{V}{I}\right)$

En la Figura 6 se muestra el multímetro con el que se realizaron las pruebas de conductividad eléctrica, en el que se coloca plata líquida coloidal en cada punto donde se hizo contacto con las puntas del equipo para hacer seis tomas por probeta.



Figura 6. multímetro Digital de cuatro puntas, marca Agilent LX1 modelo 34411A

3.2.6 Pruebas mecánicas

3.2.6.1 Pruebas de Tensión

Al tener las probetas terminadas se les realizaron pruebas mecánicas de tensión en la máquina universal Instron Serie IX en condiciones que se especifican en la Tabla 5. Este proceso se generó aplicando una carga axial, a una velocidad programada sobre la probeta hasta la ruptura para conocer su resistencia. Las probetas fueron condicionadas a la Norma ASTM D 638. [44]

TABLA 5. Condiciones específicas de la máquina universal Instron Serie IX para pruebas de tensión en probetas experimentales.

VARIABLES DE PRUEBA	UNIDADES
Velocidad de Prueba	5 mm/min
Rango de la Escala de la Carga	5.0 kN
Temperatura	23°C
Humedad	30%

Las pruebas de tensión se realizaron para determinar la resistencia de las probetas al aumentar el porcentaje y tamaño de fibra, en la Figura 7 se puede observar la máquina universal Instron Serie IX.



Figura 7. Máquina Universal Instron Sistem IX

3.2.6.1 Pruebas de DMA

Como complemento a las pruebas de tensión se realizó análisis mecánico dinámico (DMA) a las probetas, para determinar las diferencias en sus características mecánicas en deformación y su resistencia dada por el comportamiento viscoelástico. Se utilizó un equipo Analizador Mecánico Dinámico manufacturado por TA Instruments RSA3, bajo las condiciones que se describen en la Tabla 6.

TABLA 6. Condiciones específicas de pruebas de DMA a probetas de prueba en máquina TA Instruments modelo RSA3

VARIABLES DE PRUEBA	UNIDADES
Tiempo por periodo	10 min
Etapas de carga	4
Carga	50 grs
Temperatura	25 °C

Esta técnica consiste en deformar mecánicamente, en forma sinusoidal o constante, un material y monitorear su respuesta como función de la temperatura, tiempo, frecuencia o grado de deformación. Se realizó en cuatro etapas de 10 min cada una en la que en tres puestos específicos aplicando una carga de 50 g. En cada etapa se aumentan 50 g hasta llegar a 200 g y para obtener las gráficas de barrido de deformación (Stress relaxation) y cedencia – recuperación (Creep – Recovery). En la Figura 8 se muestra el equipo analizador mecánico dinámico TA Instruments modelo RSA3 utilizado en estas pruebas.

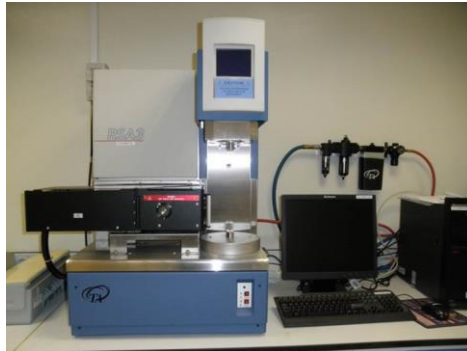


Figura 8. Equipo TA Instruments modelo RSA3.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Medición de tamaño de fibra

Las tomas obtenidas del Microscopio Óptico Image-Proplus se muestran en las Figuras 9, 10 y 11 que corresponden a cada muestra.

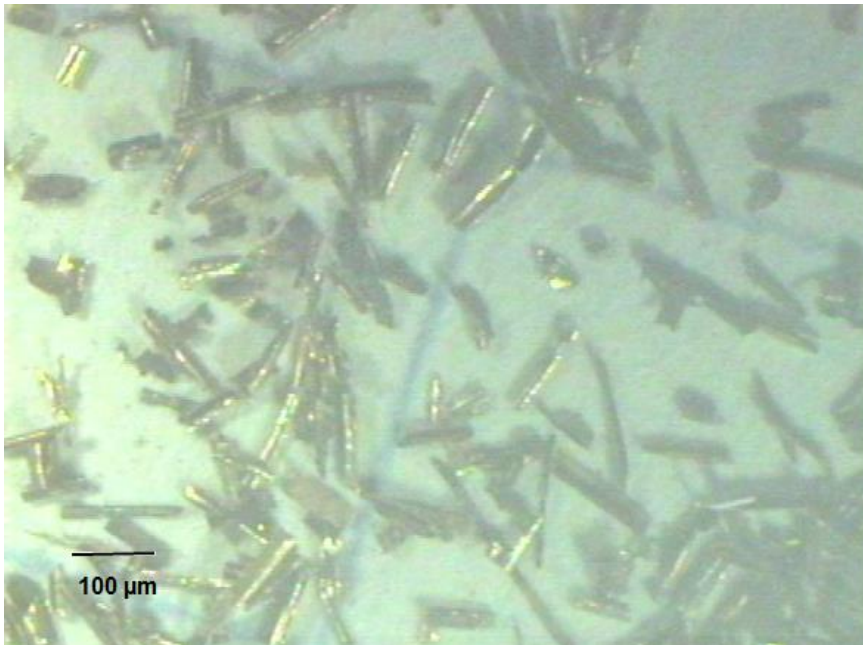


Figura 9. Muestra A, limaduras de bronce resultado de tamizado con malla tamaño 25.

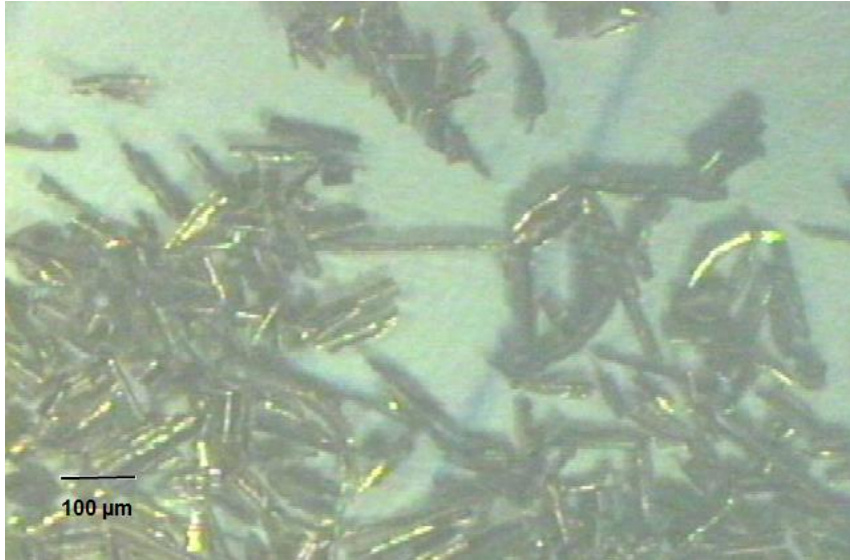


Figura 10. Muestra B, limaduras de bronce resultado de tamizado con malla tamaño 35.



Figura 11. Muestra C, limaduras de bronce resultado de tamizado con malla tamaño 50.

Con estas tomas se 200 fibras por tamaño de muestra para poder hacer la relación estadística entre ancho y largo (relación de aspecto). Los resultados se muestran en la Tabla 7.

TABLA 7. Mediciones de fibras de bronce.

LARGO				ANCHO			
Media aritmética	1545.13	1028.29	989.5	Media aritmética	260.57	191.78	181.25
Mediana	1462	996	936	Mediana	255	180	173.5
Desviación estándar	+/- 965.82	+/- 397.78	+/- 367.59	Desviación estándar	+/- 29.53	+/- 46.68	+/- 32.69

Para determinar la relación de aspecto se dividió el largo de la fibra por su ancho, esta relación repercute en las propiedades mecánicas del composito en el que cambia su comportamiento mecánico cambia llegando a ser superiores en relaciones de aspecto mayores ya que la deformación plástica del composito se incrementa con el aumento del grosor de la fibra. [7][22][23]

Se observó un crecimiento en el largo de las fibras es de 3.7% de la muestra A a comparación de la muestra B y de 5.6 % de la muestra B a la muestra C como se observa en la Figura 12. Los resultados de relación de aspecto arrojados son muy similares, 5.4 para la muestra A, 5.3 para Muestra B y 5.9 para la muestra C. Las fibras son simétricas para la relación de aspecto que resulta, por lo que tenemos un aumento del ancho de la muestra proporcional al crecimiento de largo de cada fibra por lo que se esperan resultados similares en las pruebas mecánicas para los tres tamaños de fibra.

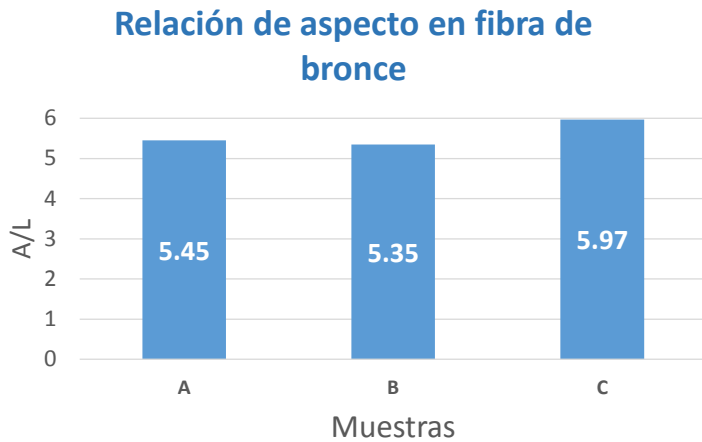


Figura 12. Relaciones de aspecto de muestras de fibra en tamaños A, B y C.

La forma del refuerzo (fibra) influye directamente en los resultados de conductividad que se pueden obtener, se han realizados estudios como los de Struèmpier en los que se demostró que la forma del refuerzo influye en la conductividad, cuando se tiene una relación de aspecto mayor a 1 se pueden tener caminos de conexión entre el refuerzo provocando conducción. [4]

El tamaño de la fibra influye ne los resultados de conductividad ya que refuerzos más pequeños generar no tener contacto entre ellas y se pierde la conductividad, esto se observó en estudios echos por Boudennea al utilizar dos tamaños de refuerzo. [8]

4.2 Obtención de probetas

Las probetas experimentales se fabricaron en forma de láminas. En la Figura 13 se pueden observar la preparación sobre planchas de madera dejando en reposo durante 24 h para que concluyera el entrecruzamiento o curado de las mismas.

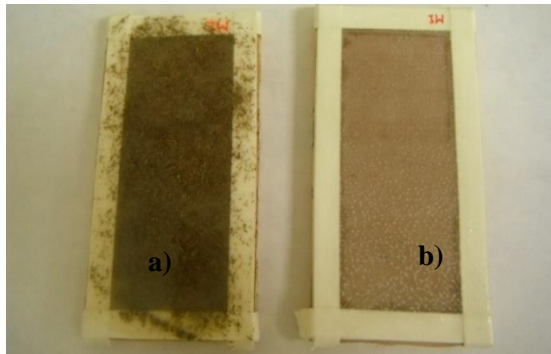


Figura 13. Probetas a) Muestra tamaño A con 25% de fibra (A25), b) blanco 0% de fibra (000).

Después se cortaron en tiras de 2 cm para la realización de la caracterización de conductividad eléctrica y propiedades mecánicas.

Para los porcentajes de fibra se utilizan dentro de los porcentajes que se emplearon en estudios anteriores como los de Boudenne y Struémpler que han sido entre 10% y 30% para hacer una comparación de los resultados finales. [3] [16]

La distribución de las fibras en la matriz se realizó de forma aleatoria para mejorar la conductividad en la misma ya que se obtienen mejores resultados con esta distribución. [19]

4.3 Medición de conductividad

Para conocer las diferencias que se tenían entre porcentajes y tamaños de fibra se realizaron mediciones de conductividad en multímetro Agilent LX1 modelo 34411A con el método de cuatro puntas a temperatura ambiente. Este método permite eliminar simultáneamente el efecto de las resistencias de los cables.

Al hacer aumentos en el porcentaje de refuerzo se espera tener mayor conductividad ya que al elevar los porcentajes las partículas conductoras se producen cadenas de partículas en contacto íntimo, proporcionando caminos conductores que atraviesan la muestra dando como resultado conductividades más altas [1].

Para comprender la influencia del porcentaje de fibra en la resistividad de las probetas se separan los resultados por tamaños de muestras en sus diferentes porcentajes, en las Figuras 14, 15 y 16 se observan los resultados.

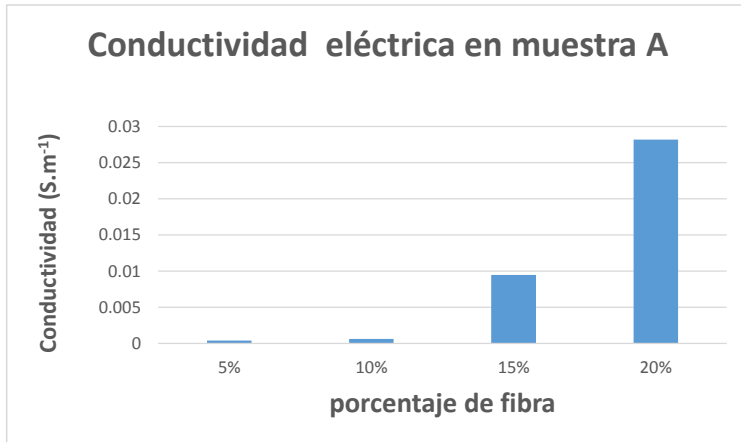


Figura 14. Resultados de conductividad de muestra A de 5% a 20% de fibra de bronce

En la Figura 14 se observa el comportamiento de la conductividad en las probetas de la Muestra A con fibras de cobre en porcentajes de 5% a 20% en peso, se observa un incremento considerable en la conductividad por el aumento del porcentaje de fibra como refuerzo disparandoce en el porcentaje de 15 % fibra.

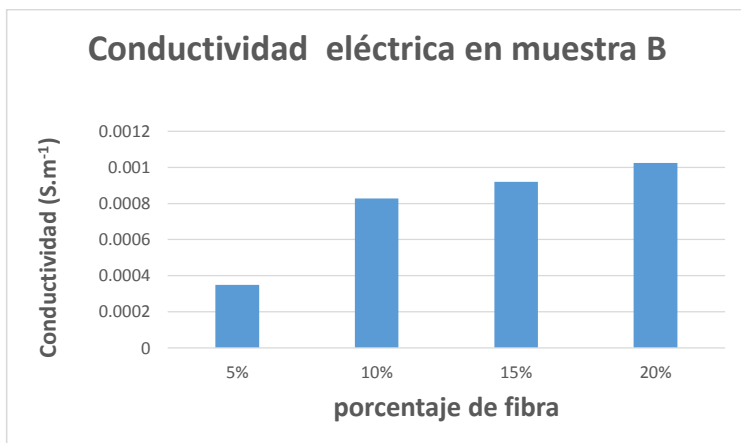


Figura 15. Resultados de conductividad de Muestra B de 5% a 20% de fibra de bronce

En la Figura 15 se observa el comportamiento de la resistividad en las probetas de la Muestra B con fibras de cobre en porcentajes de 5% a 20%, se observó un aumento en la conductividad al aumentar el porcentaje de fibra en la matriz, se obtuvo 54% en el aumento de conductividad de la probeta de 5% a la de 20% de fibra siendo más gradual el incremento de la conductividad.

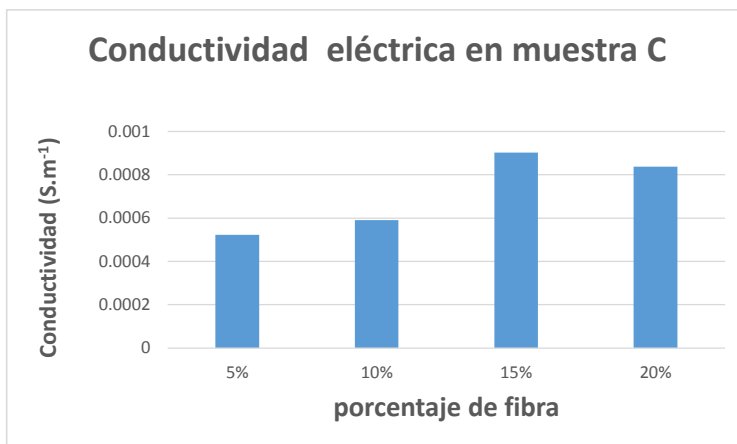


Figura 16. Resultados de resistividad de Muestra C de 5% a 20% de fibra de bronce.

En la Figura 16 se observa el comportamiento de la conductividad en las probetas de la Muestra B con fibras de cobre en porcentajes de 5% a 20%, se observó como la conductividad aumenta al agregar más porcentaje de fibra en la probeta, en esta muestra fue de 19% el aumento del 5% al 20% de fibra en la probeta teniendo pequeñas incrementos de conductividad en las diferentes probetas.

En la Figura 17 se muestra la comparación en la conductividad en las muestras en todos los porcentajes y tamaños.

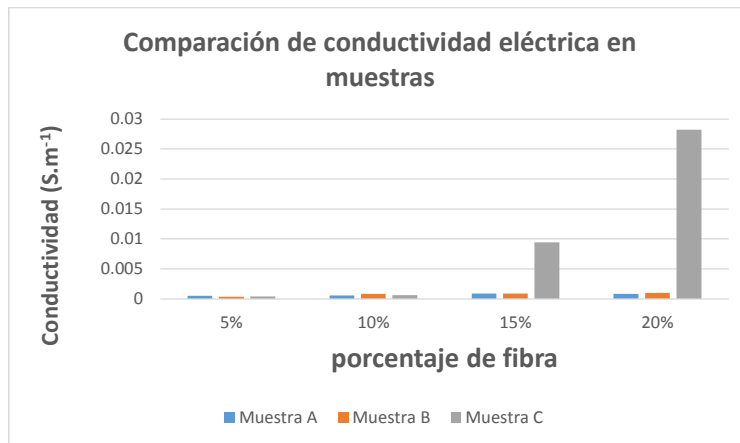


Figura 17. Comparación de conductividad en muestras

Se puede observar que por el aumento de la carga de fibra se obtiene mejor conductividad eléctrica en que se comprueba como el porcentaje de fibra tiene influencia directa en los resultados de conductividad en el compuesto. Esto se atribuye a que una concentración mayor de material de refuerzo genera que la distancia entre las partículas se estreche y da lugar a una trayectoria conductora en el compuesto. [9][11][15][30] Manunya, Luyt, Psarras, Li

Estas conexiones no simple son de fibra a fibra pero se da la conductividad por el efecto túnel que se presenta en materiales compuestos en la que teniendo una separación mínima se consigue que el material compuesto presente conductividad eléctrica, esto se obtiene al tener una cercanía entre las fibras lo que se generan puntos de interconexión, al aplicar una carga ocurre una saturación por

lo que se puede generar un paso de la corriente en la matriz y como resultado la conductividad. [1][4][24] Bloor, STRUÈ MPLER, Roldughin

Otro factor que influye directamente es la forma de las partículas, al estar en contacto cercano se generan caminos de conducción, en materiales nanométricos se encuentra que la conductividad eléctrica se presenta al llegar al umbral de percolación. En partículas esféricas se ha encontrado menor umbral de percolación que en partículas más grandes como se demostró en el estudio de Boudennea, en el que se obtuvo mejores resultados en conductividad con estas últimas[8]. Otros estudios como los de Li y Xue se encontraron mejoras en la conductividad al acercarse al umbral de percolación. [35] [37] Li, Xue

El tamaño de fibra utilizado en este estudio supera las dimensiones de un material nanométrico por lo que el umbral de percolación es superado, como resultado se tiene conductividad desde porcentajes pequeños, esto se observa en las probetas de 5% de fibra en cualquier tamaño.

Se ha reportado resultados similares en compuestos de polietileno de alta densidad y de poli(butileno tereftalato), llenos de nanopartículas de plata dispersas. En el polietileno de alta densidad la más alta conductividad aparece entre 10 y 16 % de refuerzo. En el tereftalato de polibutileno se puede observar aumento sucesivo de la conductividad a concentraciones de plata por encima del 18% como refuerzo. [5] Rybak

En otros estudios con Ni, Ag y TiB₂, el aumento de la conductividad se da de una forma drástica en concentraciones de refuerzo de 15% a 20% en la que las variaciones de concentración ya no tienen grandes diferencias. [16] **Strempler**

Se a comprobado que para obtener mayor conductividad en porcentajes más pequeños se puede hacer un tratamiento en el refuerzo para mejorar la unión de las dos faces en el composito[31]. Estudios realizados por Bloor en los que se observa un aumento de la conductividad en la compresión del composito de niquel como refuerzo .[39] **Bloor**

4.4 Pruebas mecánicas

4.4 Pruebas de tensión

La evaluación mecánica de las probetas se efectuó en la máquina universal Instron Serie IX, adecuándolas para esta prueba como se muestra en la Figura 18.

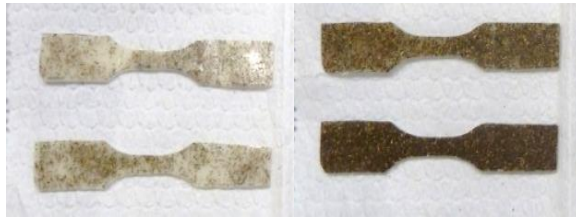


Figura 18. Probetas para prueba en máquina universal

Los resultados se muestran en las Figuras 19, 20 y 21, en las que en cada muestra se realizó una comparación del cambio en la resistencia a la ruptura de la probeta de acuerdo al porcentaje de fibra que se le incluyó en la matriz.

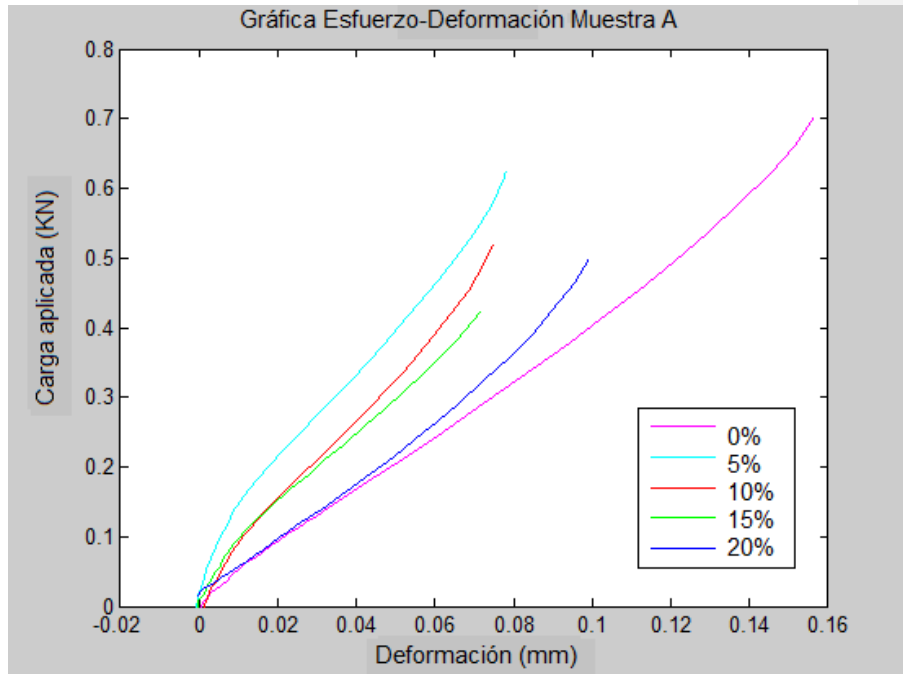


Figura 19. Resultados de pruebas de tensión de la Muestra A

En la Figura 19 se tiene reflejados los resultados de la prueba de tensión de la Muestra A que es la de menor dimensión longitudinal de las tres muestras de fibra utilizadas, con 0.15 kN al momento de la ruptura en el blanco (probeta con 0% en peso de fibra). En la probeta con 5% de fibra se tuvo una disminución del 54% en la resistencia, en probeta de 10% de fibra resulto un 53% menos resistencia, en probeta de 15 % de fibra disminución de 57% y en probeta con 20% de fibra un 63% en la resistencia.

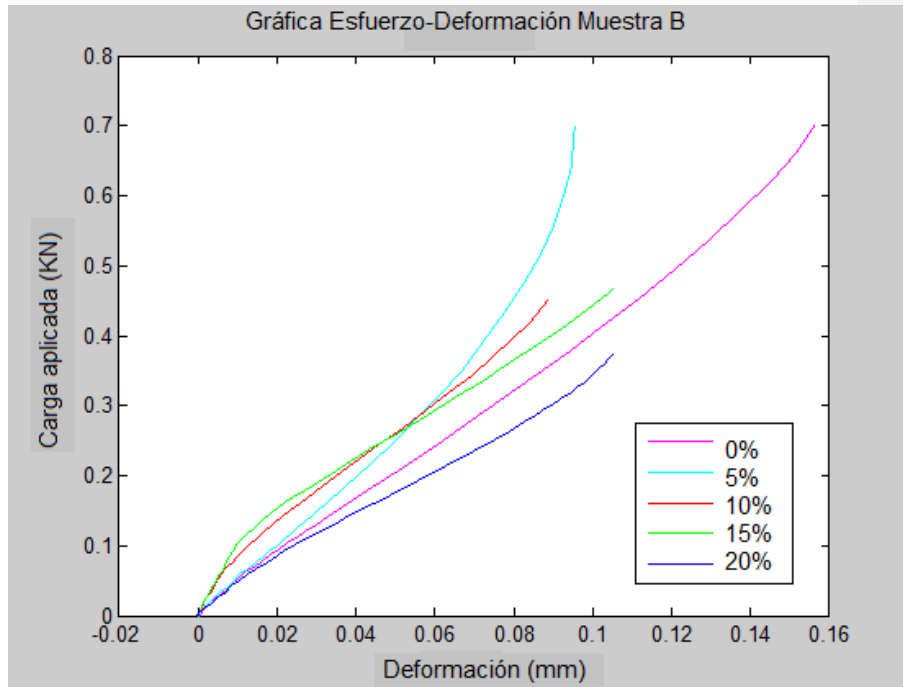


Figura 20. Graficas de resultados de pruebas de tensión a Muestra B

En la Figura 20 se encuentran los resultados obtenidos de la prueba de tensión de la Muestra B que es la dimensión longitudinal intermedia de fibra de las utilizadas en las pruebas. La comparación se hace nuevamente a base del blanco contra los porcentajes de fibra en cada probeta. En la probeta con 5% de fibra se tuvo una disminución del 61% en la resistencia, en probeta de 10% de fibra resulto un 53% menos resistencia, en probeta de 15 % de fibra disminución de 56% y en probeta con 20% de fibra un 60% en la resistencia.

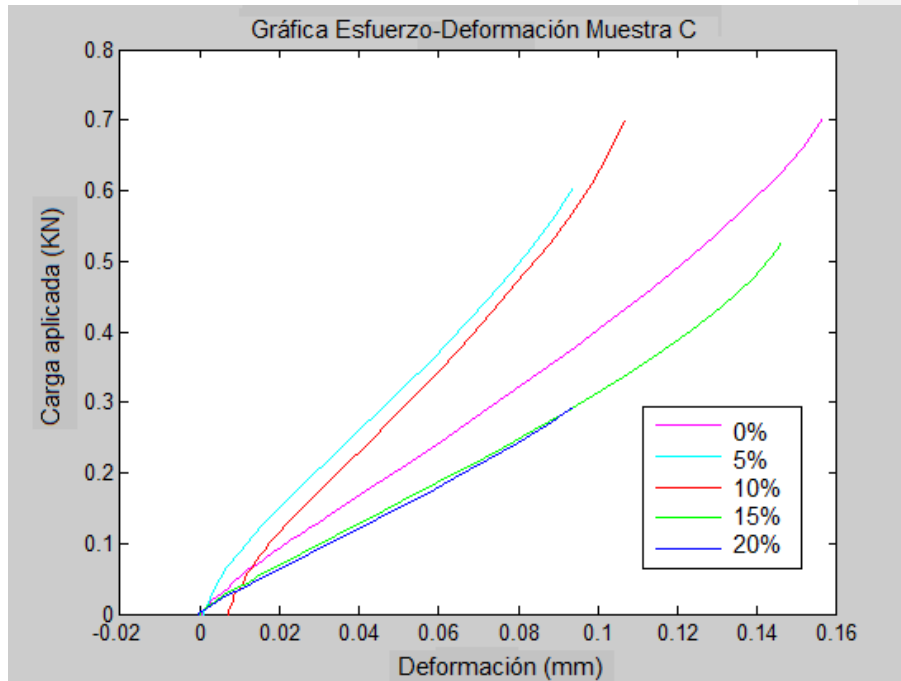


Figura 21. Graficas de resultados de pruebas de tensión a muestra C

En la Figura 21 se encuentran los resultados obtenidos de la prueba de tensión de la Muestra C, la cual es la de mayor dimensión longitudinal entre las tres muestras de fibra utilizadas en las probetas experimentales. La comparación se hace nuevamente a base del blanco contra los porcentajes de fibra en cada probeta. En la probeta con 5% de fibra se tuvo una disminución del 54% en la resistencia, en probeta de 10% de fibra resulto un 53% menos resistencia, en probeta de 15 % de fibra disminución de 57% y en probeta con 20% de fibra un 63% en la resistencia. Como resultado tenemos la disminución de la resistencia al quiebre en la aplicación de fuerzas axiales para todos los porcentajes y tamaños de fibra.

En la Figura 22 se muestra la comparación de los resultados de resistencia a la ruptura de todos los tamaños de fibra y porcentajes de refuerzo.

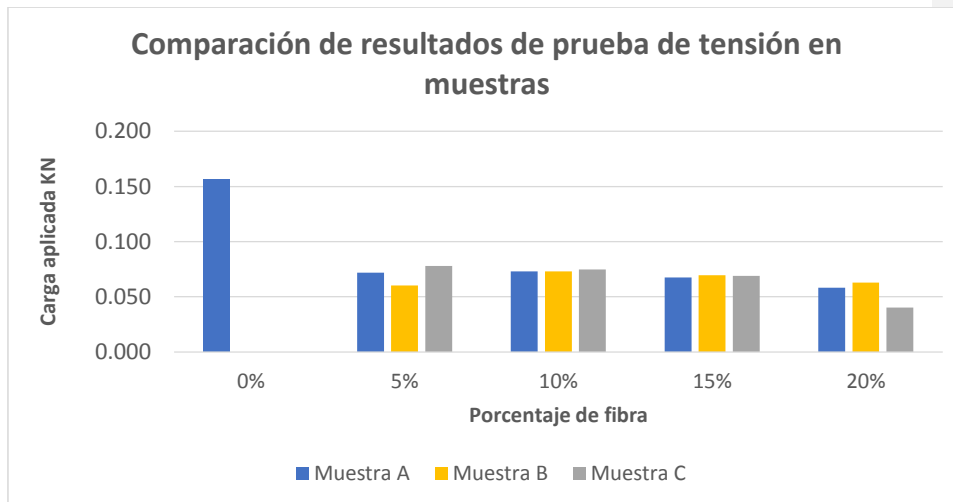


Figura 22. Comparación de resultados de prueba de tensión en muestras.

Para las tres muestras se tiene disminución de la resistencia al aplicar fibra como refuerzo, en las Muestras A y B son más homogéneos los resultados a comparación de la Muestra C, donde tenemos las fibras de dimensiones más grandes en la que la resistencia se pierde en porcentajes más elevados. Esto por el tamaño de la fibra, ya que al ocupar mayor espacio en la probeta se pierden las características mecánicas de la matriz por la baja interacción entre matriz-refuerzo.

[1] [14] Bloor, Bishay

La naturaleza superficial de la fibra hace que la unión entre el refuerzo y matriz sea mecánica, por lo que la resistencia a la tensión está sujeta a qué tan fuerte se generó esta unión. En estudios anteriores, se encontró que la resistencia a la tensión disminuye con el aumento del contenido de refuerzo, como el caso de Bishay, en el que se tienen polvo de aluminio en cloruro de polivinilo. La resistencia mecánica disminuye por la baja adherencia interfacial entre el refuerzo y la matriz por la intercara entre los materiales y por una diferencia entre la resistencia a la ruptura de los materiales que comprenden el composito por lo que se generan discontinuidades. Al aplicar el esfuerzo, el polímero se deforma menos que el refuerzo y se generan cavidades entre las fibras y el polímero, por lo que es más recurrente la ruptura entre más cantidad de fibra se encuentre en el composito[14].

Bishay

Estudios han demostrado que se puede mejorar esta unión utilizando métodos como compresión para generar mejor compatibilidad en la preparación de la fibra en placas como lo realizado por Boudennea. [8] **Boudennea**

4.5 Pruebas de DMA

Estas caracterizaciones se realizaron buscando conocer el comportamiento de deformación en las probetas en los diferentes porcentajes de fibra y cambios en

tamaños y conocer su resistencia dada por el comportamiento viscoelástico de la resina.

4.5.1 Resultados de prueba cedencia-recuperación

Las pruebas de DMA que se realizaron a las probetas arrojaron los resultados que se muestran en las Figuras 23, 24 y 25.

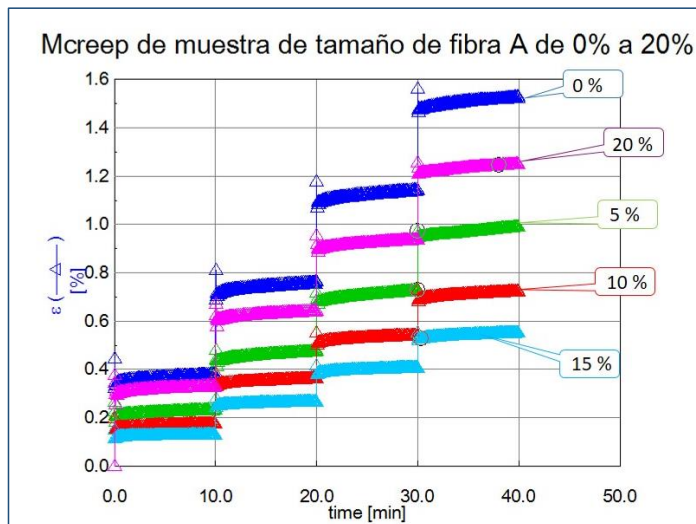


Figura 23. Prueba Cedencia – Recuperación a probetas con tamaño de fibra A.

En las pruebas de cedencia-recuperación de la Muestra A se obtuvo la gráfica de la Figura 23, donde se aprecia que la deformación es menor en las cuatro

probetas reforzadas con fibra de bronce. En la probeta de 15% tiene una deformación del 33% en comparación con el blanco.

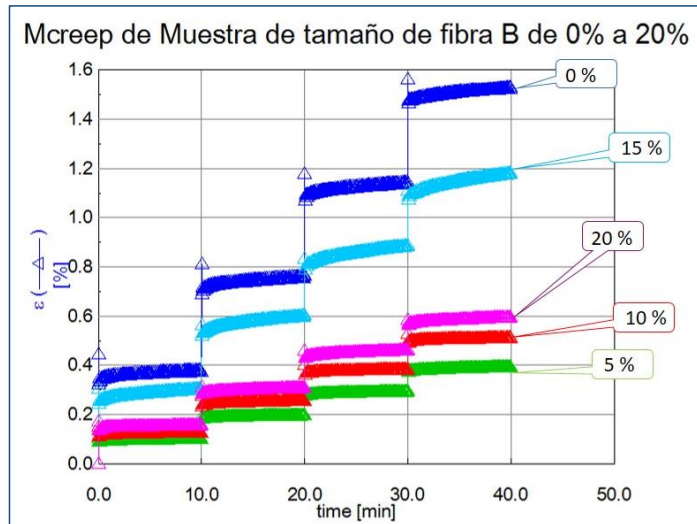


Figura 24. Prueba Cedencia – Recuperación a probetas con tamaño de fibra B.

En la Figura 24 se muestran los resultados de la prueba de cedencia-deformación de la Muestra B, se obtuvo menor deformación en las probetas con refuerzo de fibra de bronce en el que la probeta con 5% tiene una diferencia de 26% contra el blanco.

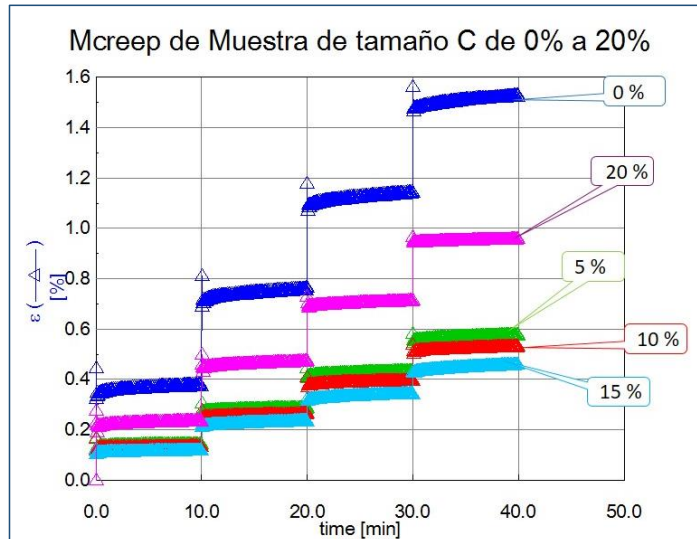


Figura 25. Prueba Cedencia–Recuperación a probetas con tamaño de fibra C.

En la Figura 25 se muestran los resultados de la prueba de cedencia-deformación de la Muestra C, se obtuvo menor deformación en las probetas con refuerzo de fibra de bronce en el que la probeta con 5% tiene una diferencia de 30% contra el blanco.

La fibra tiene una influencia directa en la deformación de las probetas ya que la deformación en éstas aumenta en todas las pruebas con un porcentaje de fibra. Estudios anteriores son similares a los obtenidos por Yong ya que la matriz sin refuerzo se reduce de 230 kJ a 130 kJ una matriz con refuerzo de SiC. [25] Young

Al realizar la prueba en los tres tamaños de fibra no se encuentra una tendencia en los resultados, esto se atribuye a una distribución no homogénea de la fibra en la matriz por lo que se generan discontinuidades en el compuesto.

4.5.2 Resultados de barrido de deformación

Esta prueba se realizó para analizar el aumento en la fluidez del material al agregar porcentajes más altos de fibra de cada tamaño de muestra.

Los resultados obtenidos en las pruebas de barrido de deformación en las tres muestras se presentan en las Figuras 26, 27 y 28.

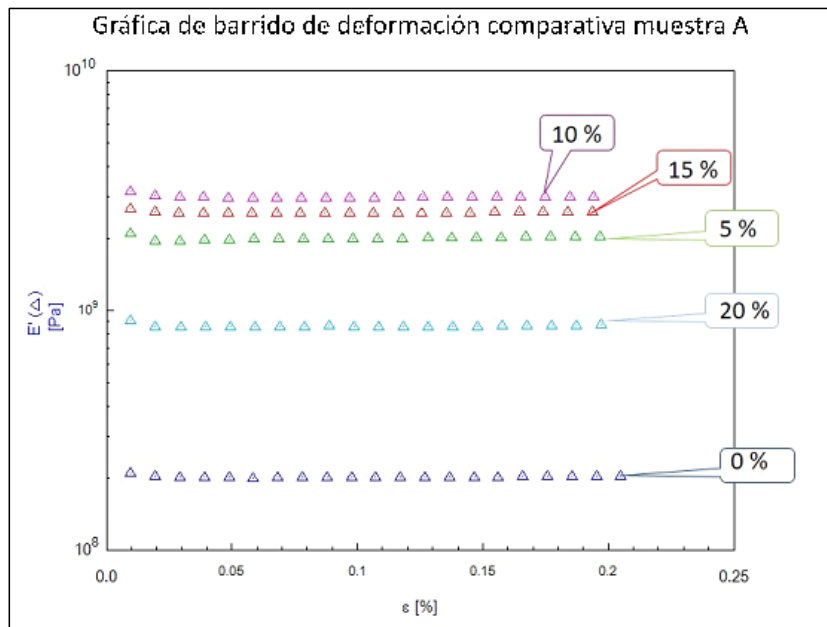


Figura 26. Gráfica de barrido de deformación de muestra A de 0% a 25% de fibra.

En la Figura 26 se muestra el resultado de la prueba de barrido a la deformación de la Muestra A con diferentes porcentajes de fibra. En la que la diferencia entre el blanco y la probeta de 10% de fibra es de 10.75%.

Gráfica de barrido de deformación comparativa muestra B

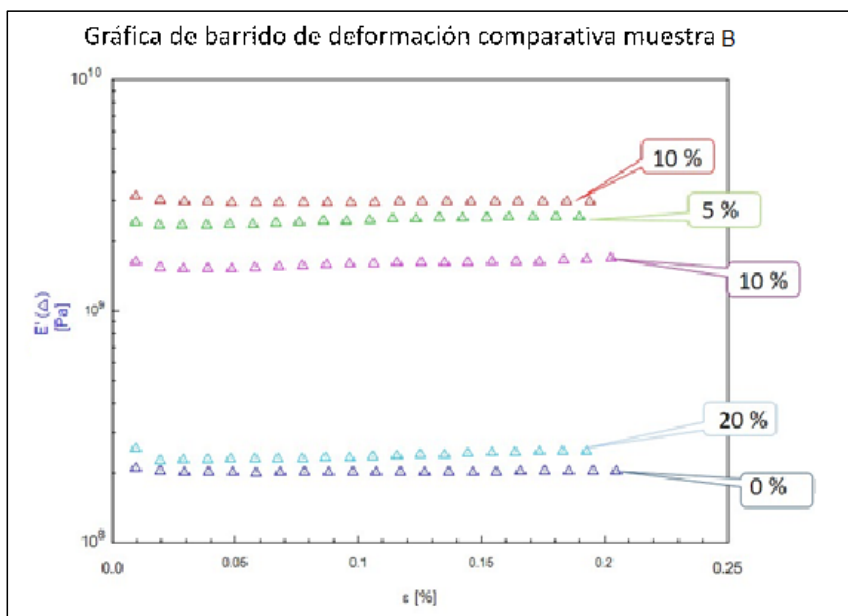


Figura 27. Gráfica de barrido de deformación de muestra B de 0% a 25% de fibra.

En la Figura 27 se muestra el módulo de elasticidad de la Muestra B con diferentes porcentajes de fibra. Se realizó la comparación contra el blanco en la que la probeta de 25% de fibra es de 10%.

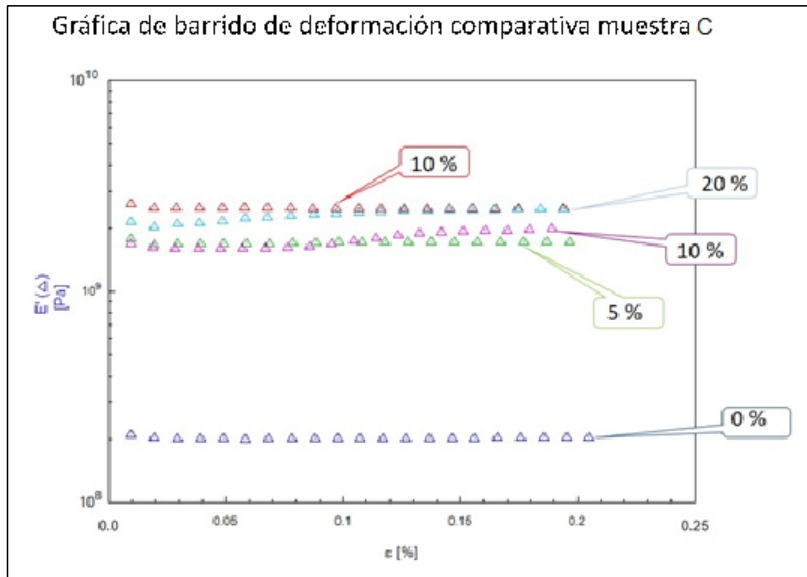


Figura 28. Gráfica de barrido de deformación de muestra C de 0% a 25% de fibra.

En la Figura 28 se muestra el resultado de la prueba de barrido a la deformación de la Muestra C con diferentes porcentajes de fibra. Se realizó la comparación contra el blanco en la que la probeta de 20% de fibra es de 9.3%.

Estos resultados se reiteran los resultados de las pruebas de cedencia-deformación en la que se muestra que el blanco tenemos menor deformación y al agregar porcentajes de fibra resulta mas fragil. [42] Rangel

Esto nos lleva a observar un patrón decendente del módulo de almacenamiento por las cargas del refuerzo.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Las muestras de fibra de bronce al ser medidas presentaron una relación de aspecto muy cercana, por lo que su comportamiento mecánico es similar para cada muestra.

Por cada aumento de porcentaje de fibra es mejor la conducción en el composito, las fibras de tamaño mas corto resultan en conexiones entre las fibras y por ende caminos de conducción. Al aumentar el tamaño de fibra estas tienden a estar en una dirección por lo que no siempre se presentan una buena conductividad.

La resistencia a la tensión disminuye para todos los tamaños de fibra siendo el aumento del porcentaje de fibra en el composito quien determina esta variable. Con las pruebas de DMA se confirman los resultados de resistencia a la ruptura que al aumentar el refuerzo se genera mayor deformación en el composito.

Como trabajos futuros se buscara la técnica adecuada para la distribución uniforme de la fibra en las probetas para mejorar la interacción entre la matriz y el refuerzo para mejorar las propiedades mecánicas.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] D Bloor, Donnelly, Hands, Laughlin, Lussey,(2005), *Metal-polymer composite with nanostructured filler particles and amplified physical properties*, Department of Physics, Durham University, South Road, Durham, DH1 3LE, UK, 4-5.
- [2] Shahinpoordag, M, Bar-Cohen Y, Simpson J & Smith J . (1998). *Ionic polymer-metal composites*, (IPMCs) as biomimetic sensors, actuators and artificial muscles - a review. 2015, de IOPSCIENCE, 4.
- [3] Boudenne, Fois, Majeté, (2005), *Anomalous behavior of thermal conductivity and diffusivity in polymeric materials filled with metallic particles*, 2-3.
- [4] Struèmpfle, Glatz-Reichenbach, (1999), *Conducting Polymer Composites*, ABB Corporate Research Ltd., CH-5405 Baden-DaÈttwil, Switzerland, 4.
- [5] Rybak, Boiteux, Melis, Seytre, (2009), *Conductive polymer composites based on metallic nanofiller as smart materials for current limiting devices*, Composites Science and Technology, 2-3.
- [6] Cioffi, Torsi, Ditaranto, Tantillo, Ghibelli, Sabbatini, Blevè-Zacheo, D'Alessio, Zambonin, Traversa, (2005), *Copper Nanoparticle-Polymer Composites with Antifungal and Bacteriostatic Properties*, 8.
- [7] Psarras, Manolaki, Tsangaris, (2003), *Dielectric dispersion and ac conductivity in—Iron particles loaded—polymer composites*, Department of Materials Science, School of Natural Sciences, University of Patras, Patras 26504, Greece, 3.
- [8] Boudennea Ibos, Fois, Majeté, Géhin, (2004), *Electrical and thermal behavior of polypropylene filled with copper particles*, *Centre d'Etude et de Recherche en Thermique*, Environnement et Systèmes, Université Paris XII Val de Marne, 61 Avenue du Général de Gaulle, 94010 Créteil cedex, France, 2,5.
- [9] Mamunya, Davydenko, Pissis, Lebedev, (2002), *Electrical and thermal conductivity of polymers filled with metal powders*, Institute of Macromolecular Chemistry, National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkovskoe chaussee 48, Kiev 02160, Ukraine, 2,6.

- [10] Weidenfeller, Höfer, Schilling, (2003), *Thermal conductivity, thermal diffusivity, and specific heat capacity of particle filled polypropylene*, Institute of Polymer Science and Plastics Processing, Technical University of Clausthal, Agricolastrasse 6, D-38678 Clausthal-Zellerfeld, Germany, 2.
- [11] Luyt, Molefi, Krump, (2005), *Thermal, mechanical and electrical properties of copper powder filled low-density and linear low-density polyethylene composites*, Department of Chemistry, University of the Free State (Qwaqwa Campus), Private Bag X13, Phuthaditjhaba 9866, South Africa, 7.
- [12] Chen, Ting, (2001), *Ultra high thermal conductivity polymer composites*, Department of Materials Science and Engineering, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan, 2.
- [13] Psaras, Manolakaki, Tsangaris, (2001), Electrical relaxations in polymeric particulate composites of epoxy resin and metal particles, Department of materials science and Engineering, chemical Engineering School, National Technical University, Iroon Polytechnion Str., GR-15780 Athens, Greece, 2-10.
- [14] Bishay, Abd-El-Messieh, Mansour, (2010), Electrical, mechanical and thermal properties of polyvinyl chloride composites filled with aluminum powder, Solid State Physics Department, National Research Centre, Dokki, Cairo, Egypt , 65.
- [15] Psarras, (2005), *Hopping conductivity in polymer matrix-metal particles composites*, Department of Materials Science, School of Natural Sciences, University of Patras, Patras 26504, Greece, 4.
- [16] Struèmpfle, Glatz-Reichenbach, (1999), *Conducting Polymer Composites*, ABB Corporate Research Ltd., CH-5405 Baden-DaÈttwil, Switzerland, 335.
- [17] Maroncho, (1996), Estudio del curado de materiales compuestos por un sistema epoxi y partículas elastoméricas. Escola tècnica superior d'enginyers industrials de Barcelona, Universitat politècnica de Catalunya. Barcelona, pág. 10-12.
- [18] Morales, J. (2010) *Introducción a la ciencia y tecnología de los plásticos*, México: trillas.
- [19] Calister, W. (2003). *Introducción a la Ciencia e ingeniería de las materiales*. España: Reverte S. A.
- [20] Wenceslao González Viñas, Héctor L. Mancini, (2003) *Ciencia de los materiales*. Argentina, Ariel S.A. Pág 27

[21] Calister, W. (2003). *Introducción a la Ciencia e ingeniería de las materiales*. España: Reverte S. A.

[22] Nairn, (2011), *Aspect Ratio Requirements for Nanotube-Reinforced, Polymer-Matrix Composites*, Wood Science and Engineering, Oregon State University, Corvallis, OR 97330, USA, 2-13.

[23] Wang, Weng, (1992), *The influence of inclusion shape on the overall viscoelastic behavior of composites*, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Rutgers University, New Brunswick, NJ 08903, 513.

[24] Roldughin, Vysotskii, (2000), *Percolation properties of metal-filled polymer films, structure and mechanisms of conductivity*, Institute of Physical Chemistry, Russian Academy of Sciences, Leninskii pr. 31, Moscow 117915, Russia, 85-87.

[25] Young, Langdon, (1998), *A comparison of the creep properties of an Al-6092 composite and the unreinforced matrix alloy*, 1-2.

[26] Gonzalez, (2007), *Investigación del comportamiento reológico de polímeros reforzados con fibras de vidrio*, Escuela Superior de Física y Matemáticas Instituto Politécnico Nacional, 9-10.

[27] Simith, W & Hashemi, J. (2007) *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*, México, Mc Graw Hill.

[28] Howard, (2003) , *A review of the rheology of filled viscoelastic systems*, Process Science Group
Unilever Research and Development Port Sunlight UK CH62 2BN, 5 - 6.

[29] Bloor, K Donnelly, P J Hands, P Laughlin and D Lussey, (2005), *A metal-polymer composite with unusual Properties*, Department of Physics, Durham University, South Road, Durham, DH1 3LE, UK, 5-6.

[30] Li, Kim, (2007), *Percolation threshold of conducting polymer composites containing 3D randomly distributed graphite nanoplatelets*, Department of Mechanical Engineering, Hong Kong University of Science and Technology, Clear Water Bay, Kowloon, Hong Kong, PR China, 2119.

[31] Jiang, Moon, Li, Wong, (2006), *Surface Functionalized Silver Nanoparticles for Ultrahigh Conductive Polymer Composites*, School of Materials Science and Engineering and School of Chemistry and Biochemistry, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia 30332-0245, 5.

[32] Mathew, Varghese, (2005), *Natural Rubber Latex-based Nanocomposites with Layered Silicates*, Rubber Research Institute of India, Kottayam 686009, Kerala, India, 6-8.

- [33] Edil, Velasco, Torralba, (2000), *Materiales compuestos de matriz metálica. I parte. Tipos, propiedades, aplicaciones*, Universidade do Estado de Santa Catarina. Dept. Ing. Mecânica. Campus Universitario Bom Retiro, 89223-100 Joinville /SC, Brasil, 189.
- [34] Wizel, Margel, Gedanken, Rojas, Fernandez, Prozorov, (1999), *The preparation of metal-polymer composite materials using ultrasound radiation: Part II. Differences in physical properties of cobalt-polymer and iron-polymer composites*, Department of Chemistry, Bar-Ilan University, Ramat-Gan, Israel, 1-2.
- [35] Li, Xu, Feng, Dang, (2006), *Dielectric behavior of a metal-polymer composite with low percolation threshold*, School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, People's Republic of China, 2-3.
- [36] Nemat-Nasse, Li, (1999), *Electromechanical response of ionic polymer-metal composites*, Center of Excellence for Advanced Materials, University of California, San Diego, La Jolla, California, 10.
- [37] Xue, (2003), *The influence of particle shape and size on electric conductivity of metal-polymer composites*, Department of Applied Physics, University of Petroleum, Dongying, Shandong 257062, PR China, 325.
- [38] Wizel, Prozorov, Cohen, Aurbach, Margel, Gedanken, (1997), *The preparation of metal-polymer composite materials using ultrasound radiation*, Department of Chemistry, Bar-Ilan University, Ramat-Gan 52900, Israel, 214-215.
- [39] Bloor, Graham, Williams, Laughlin, Lussey, (2006), *Metal-polymer composite with nanostructured filler particles and amplified physical properties*, Department of Physics, Durham University, Durham DH1 3LE, United Kingdom,
- [40] Nemat-Nasser, (2002), *Micromechanics of Actuation of Ionic Polymer-metal Composites*, University of California, San Diego Center of Excellence for Advanced Materials, 9500 Gilman Drive, La Jolla, 10.
- [41] Marín, Calderón, Jaramillo, (2010), *Study of polypyrrole/platinum composite films*, Grupo de Corrosión y Protección (GCP), Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia,
- [42] Rangel, (2007), *Revista iberoamericana de Polímeros*, 109.
- [43] Newell, *Ciencia de los materiales*, Alfaomega, 2013.

[44] D-638-10, Norma ASTM. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. West Conshohocken, EEUU: ASTM International, 2010.

ANEXOS

Tabla 8. Estructura del bisfenol F®™ Trademark of The Dow Chemical Company (“Dow”).

Property ⁽¹⁾	Value	Method
Epoxide Equivalent Weight (g/eq)	167-174	AST D-1652
Epoxide Percentage (%)	24.7 - 25.7	AST D-1652
Epoxide Grup Content (mmol/Kg)	5747 - 5990	AST D-1652
Color (Platinum Cobalt)	200 ax.	AST D-1209
Viscosity @ 25° C (mPa.s)	3400 - 4200	AST D-445
Hydrolyzable Chloride Content (ppm)	1000 Max.	AST D-1726
Water Content (ppm)	750 Max.	AST E-203
Density @ 25° C (g/mol)	1.19	AST D-4052
Shelf Life (Months)	24	

(1)Typical properties, not to be construed as specifications

TABLA 9. Propiedades de Ancamine 2489. [26]

Typical properties	
Appearance	Clear Liquid
Color (Garden)	01-feb
Viscosuty @ 77°F (cP)	80
Amine Value (mg KOH/g)	360
Specific Gravity @ 77 °F	1.04
Flash Point (closed cup) (°F)	230
Equivalent Wt{H}	83
Recommended Use Level (phr, EEW=190)	44