



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA**

**Elaboración y caracterización de materiales
compuestos elaborados con resina poliéster, fibras
textiles de desecho y agregados minerales, para su
uso como bloque de construcción**

Tesis que para obtener el Grado de
Doctor en Ciencia de Materiales

Presenta

Patricia Peña Pichardo

Comité de tutores:

Dr. Gonzalo Martínez Barrera
Dr. Miguel Martínez López
Dr. Fernando Ureña Núñez

RESUMEN

En la presente investigación se plantea el desarrollo de un concreto polimérico, en el cual se utilice como material de refuerzo fibras textiles procedentes de blue jeans usados, con la finalidad de proponer una solución ecológica para la disposición final de estos desechos. La producción de fibras textiles ha tenido un crecimiento sostenido, debido a una tendencia consumista de la población. Una de las fibras textiles naturales con más demanda en la industria de la moda es el algodón, con el cual son confeccionados los blue jeans (pantalones de mezclilla), los cuales son parte importante del guardarropa de casi todas las personas en el mundo. La cantidad de textil que es desechado una vez que los pantalones han cumplido su vida útil, se asume, que formará un importante porcentaje dentro de los residuos textiles producidos por la población.

El uso de fibras naturales para mejorar las cualidades de los materiales de construcción no es algo nuevo, se tiene el ejemplo del adobe (mezcla de barro y fibras naturales) y actualmente se están desarrollando cada vez más investigaciones alrededor del desarrollo de composites poliméricos utilizando como refuerzo fibras naturales (Misnon et al., 2014; Pickering et al., 2016).

En la obtención de material propuesto en esta investigación, se utilizaron fibras textiles de desecho de blue jeans, en la elaboración de bloques de construcción a base de resina poliéster y polvo de mármol. En una primera etapa se buscó encontrar la mejor proporción resina/mármol/fibras textiles y los resultados mostraron una mejora máxima de hasta 40% y 7.1% en las propiedades mecánicas de resistencia a los esfuerzos de compresión y de flexión respectivamente, para bloques elaborados con 30% de resina poliéster, 69% de mármol y 1% de fibras textiles; por lo cual en la siguiente etapa de la investigación, se consideró trabajar con la proporción mencionada.

En la siguiente etapa, se procedió a irradiar directamente el concreto (utilizando radiación gamma) en cantidades de 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 y 1000 kGy (Concreto A) y paralelamente, se preparó el concreto B utilizando fibras textiles irradiadas (con dosis de 100, 200, 300, 400 y 500 kGy) y se realizaron pruebas de resistencia mecánica a los esfuerzos de compresión y flexión en ambos concretos. Los resultados indicaron que las cualidades mecánicas de ambos concretos mejoran con la irradiación; aunque los mejores resultados se observaron en el concreto A.

Para los concretos A y B, en todas las dosis de irradiación aplicadas, la resistencia a los esfuerzos de compresión presentó una mejora, siendo los valores máximos entre los 300 y 400 kGy. El concreto A presentó una mejora del 40.6% comparado con el concreto de control (0 kGy), mientras que el concreto B presentó una mejora del 26%. Los resultados muestran que el mejor desempeño se presentó en el concreto A, con una diferencia del 10.7% al compararlo con el concreto B.

Los concretos A y B bajo los esfuerzos de flexión mostraron una mejora en la flexibilidad del material, los mejores resultados se obtuvieron al irradiar entre 100 y 400 kGy para el concreto A, y entre 200 y 400 kGy para el concreto B. En el caso del concreto A irradiado a 200 kGy, se obtuvo la mayor resistencia a los esfuerzos de flexión 7.78 MPa; mientras que para el concreto B, la mayor resistencia se presentó a los 300 kGy, con un valor de 7.30 MPa, lo cual indicó un desempeño 6.2 % mejor del concreto A.

ABSTRACT

In this work, polymer concrete was elaborated with textile fibers from waste blue-jeans as proposal of an ecological solution for final disposal of such wastes. Production of textile fibers has had a sustained growth, due to a consumer trend of the population. One of the natural textile fibers with more demand in the fashion industry is cotton, which blue-jeans are made. Once of its useful lifetime is finished, they become waste and are discarded in landfills.

Nowadays, researches are currently being developed around the development of polymer composites using natural fiber as reinforcements to improve the qualities of building materials. In this work, waste textile fibers from blue-jeans were used in the elaboration of building blocks based on polyester resin and marble dust. In a first experimental stage, polymer concrete specimens (resin+marble+textile) with highest mechanical values were obtained. The results showed improvements up to 40% and 7.1% in compressive and flexural strength respectively, for blocks made with 30% polyester resin, 69% marble and 1% textile fibers.

In the second experimental stage, this kind of polymer concretes were directly irradiated with gamma rays at dosage from 100 to 1,000 kGy (called by us concrete type A), and concrete with resin+marble and adding irradiated fibers (at dosages from 100 to 500 kGy), called concrete type B. Compression and bending tests were carried out in both concretes. The results showed improvement on the mechanical qualities of both concretes when adding irradiated fibers. Nevertheless, higher mechanical values were obtained for concrete type A.

For both concretes, A or B, maximum improvement on the compressive strength was found at 300 kGy. For concrete A, 40%, compared to control concrete (that without fibers); and 26% for concrete B. A difference in percentage of 10.7% when comparing highest values for both types of concrete.

Respect to flexural strength, both concrete types, had highest values when irradiating at 200 kGy and 300 kGy. In the case of concrete A, at 200 kGy, having highest flexural values of 7.7 MPa; while for concrete B, at 300 kGy, with a value of 7.3 MPa.

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| ABSTRACT----- | III |
| ÍNDICE----- | V |
| ÍNDICE DE FIGURAS----- | VIII |
| ÍNDICE DE TABLAS----- | XI |
| 1. INTRODUCCIÓN----- | 1 |
| 2. ANTECEDENTES----- | 4 |
| 3. JUSTIFICACIÓN CONTEXTUAL Y CIENTÍFICA----- | 21 |
| 4. HIPÓTESIS----- | 24 |
| 5. OBJETIVOS----- | 25 |
| Objetivo general----- | 25 |
| Objetivos específicos----- | 25 |
| 6. MATERIALES Y MÉTODOS----- | 27 |
| 6.1 Preparación de las fibras textiles obtenidas de blue jeans de desecho ----- | 27 |
| 6.2 Preparación del concreto polimérico ----- | 27 |
| 6.2.1 Concreto polimérico sin material de refuerzo----- | 28 |
| 6.2.2 Concreto polimérico reforzado con fibras textiles de desecho sin irradiar, e irradiación del concreto polimérico | 28 |
| 6.2.3. Preparación de concreto polimérico reforzado con fibras textiles de desecho irradiadas ----- | 29 |

| | |
|--|----|
| 6.3 Análisis de desempeño mecánico del concreto polimérico. | |
| Resistencia a los esfuerzos de compresión y flexión ----- | 29 |
| 6.4 Caracterización de las fibras textiles irradiadas----- | 30 |
| 6.4.1 Caracterización morfológica de fibras textiles----- | 30 |
| 6.4.2 Difracción de rayos X----- | 30 |
| 6.4.3 Espectrofotometría FT-IR----- | 30 |
| 6.5. Procedimiento de irradiación----- | 31 |
| 6.6. Diseño experimental----- | 32 |
| 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN----- | 33 |
| 7.1. Caracterización del concreto polimérico sin material de refuerzo----- | 33 |
| 7.2. Caracterización del concreto polimérico reforzado con fibras textiles sin irradiar----- | 37 |
| 7.3. Caracterización del concreto polimérico reforzado con fibras textiles irradiado directamente (Concreto A)----- | 42 |
| 7.4. Caracterización del concreto polimérico reforzado con fibras textiles irradiadas (Concreto B)----- | 46 |
| 7.5. Caracterización de las fibras textiles irradiadas----- | 51 |
| 7.5.1. Caracterización morfológica de las fibras textiles----- | 51 |
| 7.5.2. Difracción de rayos X----- | 52 |
| 7.5.3. Espectrofotometría FT-IR----- | 54 |
| 7.5.4. Calorimetría diferencial de barrido----- | 59 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 8. CONCLUSIONES----- | 60 |
| 9. PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN----- | 62 |
| 10. REFERENCIAS----- | 66 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2.1. Composición de los residuos sólidos urbanos generados en México (2010)----- | 5 |
| Figura 2.2. Estructura química de la celulosa----- | 8 |
| Figura 2.3. Producción mundial de fibras textiles----- | 9 |
| Figura 2.4. Efecto fotoeléctrico----- | 18 |
| Figura 2.5. Efecto Compton----- | 19 |
| Figura 2.6. Formación de pares----- | 19 |
| Figura 6.1. a) Tiras de fibras de algodón, y b) Fibras molidas de blue-jeans----- | 27 |
| Figura 6.2. Molde para preparación de probetas----- | 28 |
| Figura 6.3. Resina polyester/Polvo de mármol/fibras textiles----- | 29 |
| Figura 6.4. Máquina de prueba universal modelo 70-S17C2----- | 30 |
| Figura 7.1. Resistencia y deformación bajo los esfuerzos de compresión del concreto polimérico con diferentes proporciones de resina poliéster----- | 33 |
| Figura 7.2. Módulo de elasticidad a la compresión del concreto polimérico preparado con diferentes proporciones de resina poliéster----- | 34 |
| Figura 7.3. Resistencia y deformación bajo los esfuerzos de flexión del concreto polimérico con diferentes proporciones de resina poliéster---- | 35 |
| Figura 7.4. Módulo de elasticidad a la flexión del concreto polimérico preparado con diferentes proporciones de resina poliéster----- | 36 |
| Figura 7.5. Resistencia y deformación bajo los esfuerzos de compresión del concreto polimérico reforzado con diferentes proporciones de fibras textiles----- | 38 |

| | |
|---|----|
| Figura 7.6. Módulo de elasticidad a la compresión del concreto polimérico preparado con diferentes proporciones de fibras textiles----- | 39 |
| Figura 7.7. Resistencia y deformación bajo los esfuerzos de flexión del concreto polimérico reforzado con diferentes proporciones de fibras textiles----- | 40 |
| Figura 7.8. Módulo de elasticidad a la flexión del concreto polimérico preparado con diferentes proporciones de fibras textiles----- | 41 |
| Figura 7.9. Resistencia y deformación bajo los esfuerzos de compresión del concreto polimérico reforzado, irradiado directamente a diferentes dosis----- | 43 |
| Figura 7.10. Módulo de elasticidad a la compresión del concreto polimérico reforzado, irradiado directamente a diferentes dosis----- | 43 |
| Figura 7.11. Resistencia y deformación bajo los esfuerzos de flexión del concreto polimérico reforzado, irradiado directamente a diferentes dosis----- | 44 |
| Figura 7.12. Módulo de elasticidad a la flexión del concreto polimérico reforzado, irradiado directamente a diferentes dosis----- | 45 |
| Figura 7.13. Resistencia a la compresión de los concretos A y B----- | 47 |
| Figura 7.14. Deformación bajo los esfuerzos de compresión de los concretos A y B----- | 47 |
| Figura 7.15. Resistencia a la Flexión de los concretos A y B----- | 48 |
| Figura 7.16. Deformación bajo los esfuerzos de flexión de los concretos A y B----- | 49 |
| Figura 7.17. Módulo de elasticidad a la compresión de los concretos A y B----- | 50 |
| Figura 7.18. Módulo de elasticidad a la flexión de los concretos A y B----- | 51 |
| Figura 7.19. Microscopía electrónica de barrido (SEM) de las fibras textiles----- | 52 |
| Figura 7.20. Difractograma de Rayos X (DXR) de las fibras textiles---- | 53 |

| | |
|--|----|
| Figura 7.21. Índice de cristalinidad de las fibras textiles----- | 54 |
| Figura 7.22. Espectro de IR-FT de la celulosa (sin irradiar)----- | 55 |
| Figura 7.23. Espectro IR-FT de las fibras textiles (1600-900 cm^{-1})----- | 57 |
| Figura 7.24. Espectro IR-FT de las fibras textiles (3600-2800 cm^{-1})---- | 58 |
| Figura 7.25. Espectro IR-FT de las fibras textiles (1800-1500 cm^{-1})---- | 58 |
| Figura 7.26. Perfiles térmicos de las fibras textiles----- | 59 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 2.1. Composición promedio de la fibra de algodón----- | 7 |
| Tabla 2.2. Proporciones usadas para preparar concreto con fibra textil de refuerzo----- | 12 |
| Tabla 2.3. Propiedades mecánicas de fibras naturales y fibras sintéticas----- | 13 |

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el deterioro ambiental es un tema de todos los días; el desarrollo tecnológico y económico de la sociedad ha llevado a la ciencia a crear cada vez más opciones de materiales para satisfacer las necesidades de una población altamente consumista, por ello la ciencia está obligada a diseñar estrategias para poder subsanar en alguna medida los daños ocasionados al medio ambiente, un ejemplo de estas (y que mayor difusión están teniendo, debido a que pueden ser llevadas a cabo por todas las personas), son las políticas de conservación ambiental conocidas como las “tres erres” (reducir, reciclar y reusar), las cuales buscan generar en la población una conciencia ecológica, encaminada a la reducción de residuos, reciclaje de materiales que pueden ser reprocesados y el reuso de objetos o materiales antes de proceder a su disposición final, todas estas acciones están encaminadas a un panorama de sustentabilidad y respeto ambiental.

La producción de basura crece rápidamente, se estima que en países desarrollados cada persona produce en promedio de 1.5 a 2 kg diarios de desechos sólidos, y en América Latina 1 kg diario (Hoornweg and Bhad-TaTa, 2012). Casi todas las actividades humanas causan un impacto ambiental; la industria textil, que es una de las más desarrolladas a nivel mundial, no es la excepción.

Los residuos textiles presentan problemas en su disposición final, tales como contaminación de suelo, obstrucción de canales y sistemas de drenaje. Generan problemas de contaminación de las aguas, que se suman a los generados en la producción y confección de ropa. Kant (2012) menciona que el teñido de fibras textiles provoca contaminación del agua, debido al elevado contenido de sustancias como azufre, naftol, jabones, enzimas y colorantes; estos últimos elaborados con metales pesados. Los productos químicos utilizados son capaces de reaccionar con desinfectantes como el cloro y producir compuestos con propiedades cancerígenas. Hossain et al. (2014), realizaron la caracterización de aguas

procedente de una industria textil y determinaron que tanto la salinidad como la alcalinidad de los suelos de cultivo era gravemente afectada con estas aguas, causando un efecto a largo plazo y propiciando bajo rendimiento en los cultivos.

Por otra parte, la producción de fibras textiles ha venido teniendo un crecimiento sostenido, esto como producto de una tendencia consumista de la población y el uso de fibras naturales en la confección de prendas de vestir ha tomado una gran relevancia; una de las fibras naturales con más demanda en la industria de la moda es el algodón. La producción mundial de algodón en el año 2014 fue de 25.8 millones de toneladas y se espera que la producción mundial crezca 2.1% anual en los próximos 10 años, para alcanzar 29.9 millones de toneladas en el año 2024 (OCDE-FAO Perspectivas agrícolas 2015). El algodón presenta en su composición 88 a 96% de celulosa; según su origen y el tipo de cultivo son las diferencias de composición, cuando mayor sea este porcentaje mayor será el valor comercial de la fibra.

Una de las prendas de vestir que son confeccionadas con fibra de algodón son los blue jeans (pantalones de mezclilla), los cuales forman parte del guardarropa de casi todas las personas en el mundo. Por lo anterior, resulta lógico pensar que al ser una moda tan usada, la cantidad de este textil que es desechado una vez que los pantalones han cumplido su vida útil, formará un importante porcentaje dentro de los residuos textiles producidos por la población.

Por otra parte, no solamente la generación de residuos es la causa del deterioro ambiental, también la sobre explotación de recursos naturales, está teniendo un fuerte impacto. Un aspecto en el que se ve claramente representado este efecto es en la producción de materiales para la construcción. El material de construcción más usado hoy en día es el concreto, del cual se producen cada año 10 mil millones de toneladas (Martínez-Barrera et al., 2015), y lógicamente esta gran demanda requiere una gran cantidad de materia prima y un proceso productivo contaminante. El concreto tiene desventajas tales como alta porosidad, baja resistencia al agua

salada, pobre aislamiento térmico, entre otras; cualidades que lo hacen una opción cada vez menos atractiva para las demandas de una industria de la construcción que hoy en día requiere materiales más económicos y de mejor desempeño.

Una opción que actualmente se presenta prometedora en el área de los materiales de construcción es el uso de Concreto Polimérico, el cual es un material compuesto que consta de la mezcla de una resina termoestable y agregados minerales. Algunas de las características de los concretos poliméricos son: ligereza (en comparación al concreto hidráulico), alta resistencia (a la flexión, compresión, intemperie), resistencia química, aislante eléctrico, entre otras.

El uso de fibras naturales para mejorar las cualidades de los materiales de construcción no es algo nuevo, se tiene el ejemplo del adobe (pieza para la construcción hecha a partir de una masa de barro elaborado con arcilla y arena y mezclado con paja, que se modela en forma de ladrillo y se seca al sol), que se ha venido usando aún antes que el concreto hidráulico. Actualmente se están desarrollando cada vez más investigaciones alrededor del desarrollo de concretos poliméricos utilizando como refuerzo fibras naturales (Misnon et al., 2014; Pickering et al., 2016).

En esta investigación se propone la elaboración de un material compuesto usando resina poliéster y un agregado mineral (polvo de mármol); y utilizando como material de reforzamiento fibras textiles (algodón) obtenidas a partir de blue jeans de desecho. Se utilizarán dos tipos de fibra textil, una sin tratar y la otra aplicando un tratamiento con radiación ionizante (radiación gamma) en una cantidad de 100-1000 kGy (con lo que se buscare modificar la estructura de la celulosa) y se procederá a analizar las propiedades mecánicas de los materiales obtenidos.

2. ANTECEDENTES

Los residuos sólidos urbanos son aquellos generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos (NOM-083-SEMARNAT-2003).

La generación de Residuos Sólidos Urbanos en México se incrementó en los últimos años; entre 1997 y 2012 creció 43.8%, pasando de cerca de 29.3 a 42.1 millones de toneladas, como resultado principalmente del crecimiento urbano, el desarrollo industrial, el auge tecnológico, y el cambio en los patrones de consumo (SEMARNAT, 2014).

La composición de los residuos depende, entre otros factores, de los patrones de consumo de la población: por lo general, países con menores ingresos producen menos residuos (dominan los de composición orgánica), mientras que en los países con mayores ingresos los residuos son mayormente inorgánicos debido al mayor consumo de productos manufacturados (BID-OPS, 1997). En México, en la década de los 50, el porcentaje de residuos orgánicos en los residuos totales oscilaba entre 65 y 70% de su volumen, mientras que para 2012 esta cifra se redujo al 52.4% (SEMARNAT, 2014).

La composición promedio de los residuos sólidos urbanos en México, señala un porcentaje de 1.4% de residuos textiles en el año 2010 (Figura 2.1), lo que significa que anualmente se producen aproximadamente 500,000 toneladas de residuos textiles.

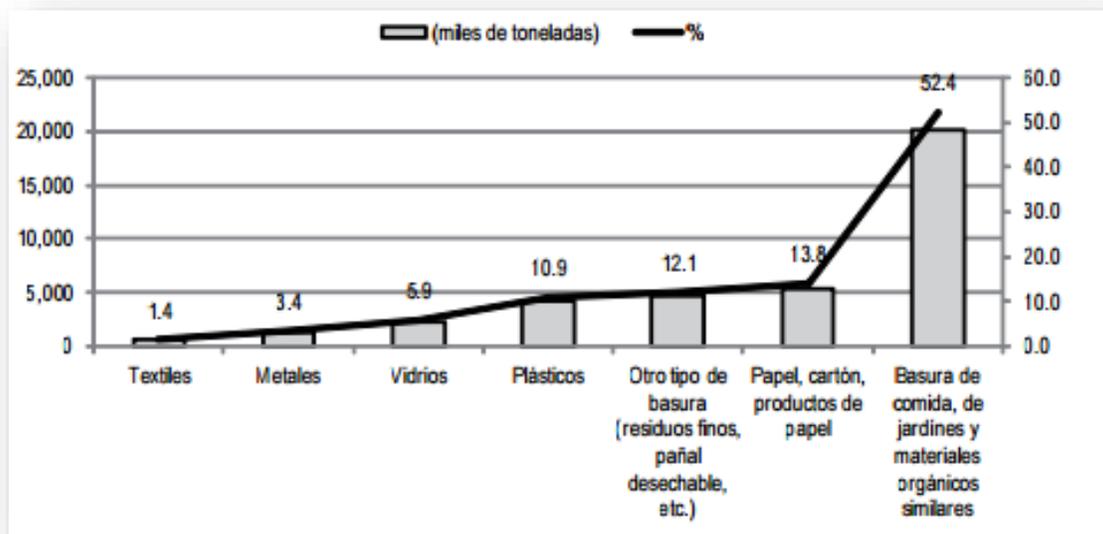


Figura 2.1. Composición de los residuos sólidos urbanos generados en México (2010). Tomada de: Semarnat, Compendio de Estadísticas Ambientales 2010, México. (Consultado en línea el 20 octubre 2016 en www.semarnat.gob.mx.)

El reciclaje o reuso de los residuos textiles evita que éstos formen parte de problemas derivados de su mala disposición final. La deficiente gestión en el manejo de los residuos sólidos urbanos en nuestro país, así como la falta de una educación hacia la conservación ambiental, ha dado pie a problemas tales como tiraderos clandestinos, o disposición inadecuada en canales de aguas residuales, en donde este tipo de residuos han propiciado problemas de obstrucción de vertederos y contaminación del suelo.

La demanda de fibras textiles, se inclina cada vez más por el uso de fibras naturales, pues la moda actual se pronuncia por las prendas de vestir cómodas, ligeras y amigables con la piel. Los blue jeans son un ejemplo de prendas de vestir elaboradas con fibras de origen natural (algodón). Una parte importante del algodón que se produce mundialmente, es utilizado en la confección de prendas de vestir de mezclilla. Las fibras de algodón utilizadas en la industria textil solo representan una tercera parte de la producción total de algodón (Kalliala y Pertti, 1999). La

producción mundial de algodón en el año 2014 fue de 25.8 millones de toneladas y se prevé un crecimiento de 2.1% anual en los próximos 10 años (OCDE-FAO Perspectivas agrícolas 2015).

Desafortunadamente, el impacto ambiental de la demanda de algodón es cada vez mayor, por razones tales como los requerimientos de grandes cantidades de agua y electricidad para su producción. La cantidad de fibras de algodón utilizadas para textiles es solo un tercio de la producción total de algodón en rama y el resto consiste en semilla de algodón (que se utiliza para la extracción de aceite) y hierba que se utiliza como alimento para ganado. La parte de las fibras que no tiene la calidad necesaria para entrar en los procesos textiles de producción se utilizan para materias primas de viscosa y paños de limpieza (Kalliala y Pertti, 1999).

En una investigación se cuantificaron los requisitos para la producción de prendas hechas con materiales vírgenes (Woolridge, et al., 2006). Los resultados mostraron que por cada kilogramo de algodón virgen que se reemplaza por ropa de segunda mano, el consumo de la energía eléctrica se reduce considerablemente. La reutilización y el reciclaje de ropa usada reduce significativamente el impacto ambiental en comparación con la compra de ropa obtenida de fibras vírgenes.

Los constituyentes de las impurezas de la fibra de algodón, no pueden ser fijados con exactitud ya que varían con la procedencia y las condiciones climatológicas prevalentes durante su cultivo. La composición promedio de la fibra de algodón es la reportada en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Composición promedio de la fibra de algodón

| Componentes de la fibra | % del componente |
|-------------------------|------------------|
| Celulosa | 88,0 – 96,0 |
| Agua | 6,0 – 8,0 |
| Sales minerales | 0,7 – 1,6 |
| Proteínas | 1,1 – 1,9 |
| Pectinas | 0,7 – 1,2 |
| Ceras | 0,4 – 1,0 |
| Pigmentos y motas | 0,5 – 1,0 |

Tomada de: Nuñez (2011)

Para que el algodón sea empleado en la elaboración de diferentes textiles (hilos para tejido de punto, mezclilla, manta, etc.), debe ser tratado en un proceso denominado descruce, en el que las impurezas tales como semillas, sustancias grasas y minerales, (excepto parte de los pigmentos coloreados), son eliminados; dicho proceso utiliza un álcali, un detergente y un agente secuestrante; cabe mencionar que durante el descruce, el uso de grandes cantidades de agua se hace necesario, siendo esta actividad la mayor fuente de contaminación del agua durante el proceso productivo. Una vez que el algodón ha sido procesado en el descruce, se considera que su composición es básicamente celulosa.

La Celulosa es una fibra vegetal que al ser observada en el microscopio es similar a un cabello humano, cuya longitud y espesor varía según el tipo de árbol o planta de la cual procede. Las fibras de algodón, por ejemplo, tienen una longitud de 20-25 mm.

Desde el punto de vista bioquímico, la celulosa $(C_6H_{10}O_5)_n$ con un valor mínimo de $n = 200$, es un polímero natural, constituido por una larga cadena de carbohidratos polisacáridos. La estructura de la celulosa se forma por la unión de moléculas de

β -glucosa a través de enlaces β -1,4-glucosídico, lo que hace que sea insoluble en agua (Figura 2.2). La celulosa tiene una estructura lineal o fibrosa, en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas yuxtapuestas de glucosa, haciéndolas muy resistentes e insolubles al agua. De esta manera, se originan fibras compactas que constituyen la pared celular de las células vegetales, dándoles así la necesaria rigidez.

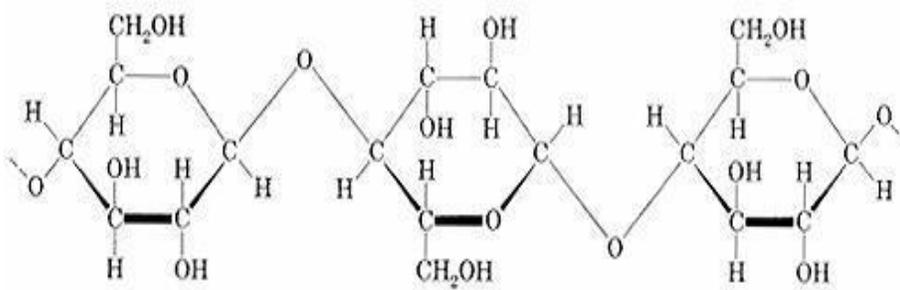


Figura 2.2. Estructura química de la celulosa

La producción de fibras textiles, tanto naturales como sintéticas ha venido presentando un crecimiento sostenido, como consecuencia del aumento de la demanda y del crecimiento de la población. Los cambios en las tendencias de la moda, se han visto reflejados en la demanda de las diferentes fibras textiles que se han venido produciendo entre los años 1980 al 2000 (Figura 2.3).

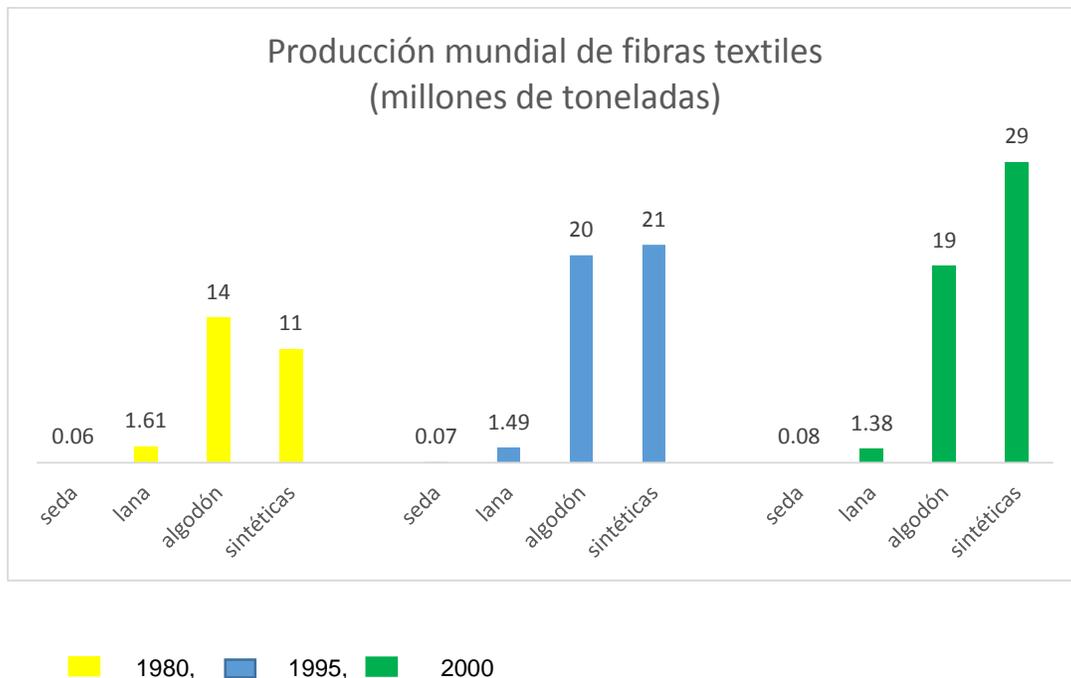


Figura 2.3. Producción mundial de fibras textiles. Adaptada de Rodríguez et.al. (2011)

La mezclilla (o denim) es una tela de algodón asargado de trama blanca y urdimbre teñida de azul índigo. Para hacerlo, después que las máquinas hiladoras convierten el algodón en hilos, algunos de éstos son teñidos con una coloración azulada y luego encolados para darle mayor resistencia. Se utiliza un urdidor de balas, para después en el telar cruzarlos, por chorro de aire o lanzadera, con otros blancos que serán la trama. La trama puede ser mezclada con fibras elastoméricas (2%) para formar tejidos elastizados (EcuRed, 2016).

En el caso de México, actualmente es uno de los principales productores de mezclilla en el mundo. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI en 2011 se produjeron 9,471 millones de toneladas de ese textil en el país (El Economista, 2013). Los pantalones de mezclilla son la prenda más vendida en México, representan 30% de todo el mercado de ropa. En la zona económica conocida como la Comarca Lagunera se producen en promedio tres millones de prendas a la semana, según la Cámara Nacional de la Industria del Vestido (Canaive-ITAM, 2008).

Es casi imposible pensar en un guardarropa que no cuente con al menos un par de pantalones de mezclilla. Sin importar el nivel económico la gente considera básico poseer este tipo de prenda de vestir, por su gran versatilidad y durabilidad. Existe en el Mercado una gran diversidad de precios y marcas, lo que ha hecho a los pantalones de mezclilla tan populares. Al ser una prenda tan común, resulta lógico el pensar que al terminar su vida útil, sea desechado y forme un importante porcentaje de los residuos textiles urbanos que la población genera diariamente.

No es de sorprender que la cantidad de residuos generados por la disposición final de los jeans, motivara a diferentes investigadores a reciclar este tipo de residuos, un ejemplo de ello es lo hecho por la compañía Crane & Co, quienes han incorporado restos de jeans en la elaboración de papel moneda; otro proyecto similar fue desarrollado por la asociación sin fines de lucro denominada Cotton: from blue to Green, quienes utilizaron jeans viejos y residuos de mezclilla, para elaborar materiales de aislamiento térmico para la construcción (Levi's, 2015).

Es imposible hablar del desarrollo de la humanidad, sin mencionar la importancia que han tenido los materiales de construcción utilizados para edificar las grandes ciudades que actualmente nos albergan. Dentro del área de la construcción, en tiempos modernos, el concreto ha tenido un papel muy importante en el desarrollo de hábitats cada vez más cómodos y funcionales; lamentablemente el impacto ecológico para su elaboración ha sido devastador, se considera que por cada tonelada de cemento Portland producido, se libera a la atmósfera casi una tonelada e CO₂, lo cual se traduce como un aporte de casi 7% de dicho gas del total liberado a la atmosfera por los procesos productivos en el mundo (Malhotra, 2000).

El empleo de fibras naturales tales como jute, lino, fibra de coco, henequén y algodón, como refuerzo en materiales de construcción está despertando un gran interés científico, debido a las ventajas que presentan entre ellas bajo impacto

ambiental y bajo costo, así como mejoramiento de las propiedades mecánicas de los materiales elaborados. Por ejemplo, el concreto polimérico (mezcla de una resina termoestable y agregados minerales) que es de tres a cinco veces más resistente que el concreto hidráulico presenta fragilidad en el punto de falla, limitando su uso en aplicaciones donde intervienen grandes cargas; para resolver este problema se ha propuesto el uso de materiales de refuerzo, tales como fibras naturales y sintéticas (Martínez-Barrera, 2009; Morales et al., 2013; Martínez-Barrera et al., 2013).

El uso de fibras de sisal como refuerzo en un material elaborado con resina epoxi, fue estudiado por Gupta (2014) y se utilizaron dos diferentes disposiciones del material de refuerzo, en forma unidireccional, y en forma de estera. La proporción que mejores resultados tuvo para ambas disposiciones fue la de 30% en peso de material de refuerzo. Se realizaron pruebas mecánicas de resistencia a la tensión, módulo de tensión, resistencia a la flexión y módulo de flexión, reportando resultados de 132.73 MPa, 673 MPa, 288.6 MPa y 18.21 GPa respectivamente, esto para el caso del material colocado en forma unidireccional. Los resultados fueron comparados con los obtenidos para la disposición en forma de estera, encontrándose que los valores para la el caso unidireccional fueron superiores en 48.6, 70.3, 89.7 y 23% respectivamente.

Briga-Sá et al. (2013), realizaron un estudio enfocado en reutilizar materiales textiles en la fabricación de aislantes para la industria de la construcción; dicho investigadores mencionan como uno de sus principales objetivos el de dar solución a un problema ambiental propiciado por la generación masiva de este tipo de residuos. Hacen mención de que tan solo en la Unión Europea, alrededor de 5,8 millones de toneladas de textiles son desechados por los consumidores al año y sólo 1,5 millones de toneladas (25%) de estos textiles son reciclados por organizaciones benéficas y por empresas industriales y los restantes 4,3 millones de toneladas se destinan a los incineradores de residuos municipales.

En otra investigación acerca del uso de fibras naturales como refuerzo de compuesto poliméricos (Maurya, 2015) se analizaron las propiedades de tensión, flexión e impacto de un compuesto preparado a partir de fibras cortas de sisal distribuidas al azar en un compuesto con resina epoxi, las longitudes de las fibras ensayadas fueron de 5, 10, 15 y 20 mm, y se utilizó una proporción del 30% en peso de fibras para la preparación del mismo. Los resultados obtenidos señalaron que la resistencia a la tensión no sufrió cambios significativos al usar el material de refuerzo, mientras que la resistencia a la flexión presentó una mejora del 25% al usar una longitud de fibra de 15 mm; en lo que se refiere a la resistencia al impacto, la mejora resultó muy significativa, presentando el mejor desempeño al utilizar las fibras con una longitud de 20 mm.

Rajput et al. (2012) realizaron un estudio para reusar el algodón de desecho que se produce durante el procesamiento mecánico del algodón en bruto en los molinos de hilo y residuos de papel de origen industrial; y los mezclaron con cemento Portland en las proporciones indicadas en la Tabla 2.2 (PW= papel de desecho; CW=algodón de desecho), para la obtención de ladrillos.

Tabla 2.2. Proporciones usadas para preparar concreto con fibra textil de refuerzo

| Details of compositions. | | | | | | |
|--------------------------|--------|------------|-----------|--------|--------|-----------|
| Sr No. | Sample | Cement (g) | Water (g) | CW (g) | PW (g) | Total (g) |
| 1 | A | 90 | 2305 | 45 | 760 | 3200 |
| 2 | B | 90 | 2300 | 30 | 780 | 3200 |
| 3 | C | 90 | 2301 | 9 | 800 | 3200 |

Sample A: 85% PW + 10% Cement + 5% CW.
 Sample B: 87% PW + 10% Cement + 3% CW.
 Sample C: 89% PW + 10% Cement + 1% CW.

Tomada de Rajput et al. (2012)

Los materiales obtenidos presentaron características de buena estabilidad térmica, hasta una temperatura de 280 °C, pero una naturaleza porosa y fibrosa.

En una investigación realizada por Pickering et al., (2016), se hizo una revisión bibliográfica sobre información de diferentes fibras de origen natural que pueden ser utilizadas para reforzar composites, y se analizó su desempeño mecánico utilizando diferentes matrices. En primer lugar recopilaron información de diferentes fibras naturales y hacen una comparación contra la fibra de vidrio, señalando que las mejores cualidades mecánicas fueron reportadas para las fibras con contenido de celulosa (Tabla 2.3).

Tabla 2.3. Propiedades mecánicas de fibras naturales y fibras sintéticas

| Fibre | Density (g/cm ³) | Length (mm) | Failure strain (%) | Tensile strength (MPa) | Stiffness/Young's modulus (GPa) | Specific tensile strength (MPa/g cm ⁻³) | Specific Young's modulus (GPa/g cm ⁻³) |
|----------|------------------------------|-------------|--------------------|------------------------|---------------------------------|---|--|
| Ramie | 1.5 | 900-1200 | 2.0-3.8 | 400-938 | 44-128 | 270-620 | 29-85 |
| Flax | 1.5 | 5-900 | 1.2-3.2 | 345-1830 | 27-80 | 230-1220 | 18-53 |
| Hemp | 1.5 | 5-55 | 1.6 | 550-1110 | 58-70 | 370-740 | 39-47 |
| Jute | 1.3-1.5 | 1.5-120 | 1.5-1.8 | 393-800 | 10-55 | 300-610 | 7.1-39 |
| Harakeke | 1.3 | 4-5 | 4.2-5.8 | 440-990 | 14-33 | 338-761 | 11-25 |
| Sisal | 1.3-1.5 | 900 | 2.0-2.5 | 507-855 | 9.4-28 | 362-610 | 6.7-20 |
| Alfa | 1.4 | 350 | 1.5-2.4 | 188-308 | 18-25 | 134-220 | 13-18 |
| Cotton | 1.5-1.6 | 10-60 | 3.0-10 | 287-800 | 5.5-13 | 190-530 | 3.7-8.4 |
| Coir | 1.2 | 20-150 | 15-30 | 131-220 | 4-6 | 110-180 | 3.3-5 |
| Silk- | 1.3 | Continuous | 15-60 | 100-1500 | 5-25 | 100-1500 | 4-20 |
| Feather | 0.9 | 10-30 | 6.9 | 100-203 | 3-10 | 112-226 | 3.3-11 |
| Wool | 1.3 | 38-152 | 13.2-35 | 50-315 | 2.3-5 | 38-242 | 1.8-3.8 |
| E-glass | 2.5 | Continuous | 2.5 | 2000-3000 | 70 | 800-1400 | 29 |

Tomada de: Pickering et al. (2016)

Pickering et al. (2016) mencionan también la importancia de la elección de la matriz cuando se usan fibras naturales como refuerzo. Señalan que uno de los factores más importantes a considerar al momento de la elección es la temperatura en la que la mayoría de las fibras naturales puede ser dañada en su estructura, y comentan que la mayoría de ellas es afectada a temperaturas superior a los 200 °C. Hacen mención de diferentes opciones de materiales termoplásticos que pueden usarse pues por sus temperaturas de cambio de fase están dentro de una rango seguro, entre estos el polietileno, el cloruro de polivinilo y el poliestireno; por otra parte mencionan también opciones recomendables para termofijos tales como resinas poliéster, resinas epoxi y resina vinil éster.

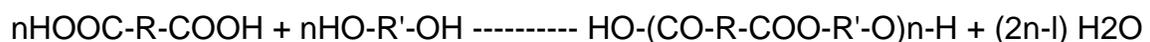
Los polímeros utilizados como matriz en concretos poliméricos son resinas termoestables, tales como epoxi, poliéster ortoftálicas, poliéster isoftálicas, vinil éster o bisfenólicas; las de poliéster son las más ampliamente utilizadas.

El concreto polimérico es de tres a cinco veces más resistente que el concreto hidráulico, ha alcanzado valores de hasta 150 MPa, pero su fragilidad en el punto de falla ha limitado su utilidad en aplicaciones donde intervienen grandes cargas. En busca de soluciones para este problema, una alternativa que se ha propuesto es reforzarlo con fibras, entre las que se encuentran las fibras sintéticas o las naturales; cuya influencia se ve reflejada en el mejoramiento de propiedades como la rigidez y la ductilidad (Martínez-Barrera et al., 2008)

El término de resina se utiliza para denominar a la materia prima que después de su procesamiento se conoce como plástico. Las resinas son líquidos altamente viscosos o sólidos solubles en solventes orgánicos (e incluso agua).

Las resinas poliéster presentan la particularidad de tener en su estructura grupos éster (COO) repetidos a lo largo de la misma. Estas resinas se obtienen a partir de compuestos llamados dioles y otros llamados diácidos.

De forma general, la reacción de esterificación, que tiene lugar entre un diácido y un dialcohol, durante el proceso de policondensación, puede esquematizarse como (Ramis, 1994):



Las resinas de poliéster son líquidas a temperatura ambiente y pueden ser llevadas a estado sólido, en el caso de las resinas pre-aceleradas, por la adición de un catalizador; y para resinas no pre-aceleradas un acelerador y un catalizador. Las resinas se presentan en forma de plásticos termo-estables que son los que se

emplean en los materiales compuestos. Los plásticos termoestables son aquellos que necesitan un agente externo (catalizador) para cambiar su estructura en otra diferente; una vez producida, esta no puede volver a su estado anterior, a diferencia de los plásticos termoplásticos. Los materiales compuestos son aquellos que originalmente eran dos o más y por medio de diferentes procesos se convierten en uno, siendo sus propiedades finales diferentes de los materiales originales. Ejemplo claro de esto es el laminado de fibra de vidrio con resina de poliéster. Existen diferentes clases de resinas entre las cuales se encuentran resinas de poliéster, vinil éster y epóxica. Con diferentes características en cada una de ellas. Entre las resinas de poliéster podemos encontrar como las más comunes: las ortoftálticas y las isoftálticas (Pre-aceleradas y no pre-aceleradas o vírgenes) (Gil, 2012).

El proceso de transformación de estado líquido a sólido se llama curado, polimerización o endurecimiento y viene acompañado de una reacción exotérmica (que desprende calor). Este cambio de estado no se presenta inmediatamente se adicionan los promotores de curado (acelerador y catalizador), es una reacción que ocurre a medida que transcurre el tiempo y se genera de forma gradual, pasando de estado líquido a estado gelatinoso (conocido como estado o tiempo de gel) y finalmente a estado sólido. En las resinas de poliéster el acelerante o acelerador se llama octoato de cobalto y el catalizador se llama comercialmente mek (peróxido de metil-etil-cetona). Los principales factores que intervienen en el proceso de curado son: el tipo de resina empleada, la temperatura ambiente (la mayoría de las resinas no curan a temperaturas inferiores a 16°C), la naturaleza y cantidad de catalizador y acelerador (a mayor cantidad de ambos, menos tiempo de gelificación), la naturaleza y cantidad de las cargas (si estas son elevadas retrasan el curad), la humedad relativa (es necesario mantener una humedad relativa entre 40 y el 54 %), el incremento de la temperatura del proceso (la cual reduce el tiempo de gelificación), y el espesor del laminado (cuyo aumento disminuye el tiempo de gelificación) (Gil, 2012).

El Concreto Polimérico es un material compuesto que consta de la mezcla de una resina termoestable (fase continua) y agregados minerales (fase discreta). Algunas características del concreto polimérico son (Martínez-López, 2016):

- Ligereza: una tercera parte del peso del concreto hidráulico.
- Alta resistencia: Resistencia a la compresión, flexión y tracción desde tres hasta cinco veces mayor que la del concreto hidráulico.
- Resistente a ataques químicos, al ambiente y otras formas de deterioro.
- Menores costos de instalación - fácil de manejar, no son necesarios equipos especiales.
- Estable bajo condiciones de congelación / descongelación.
- Baja absorción de agua: menor del 1%.
- No conductor: No requieren de conexión a tierra

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, queda claro que un aspecto determinante al momento de considerar agregar un material de refuerzo al concreto polimérico es la compatibilidad de los materiales a utilizar para dicho fin; idealmente, se debe lograr que la interfase sea eficiente y el material de refuerzo aporte al concreto polimérico una mejora de cualidades mecánicas. El uso de fibras de origen natural como refuerzo en concreto polimérico, debe tener en consideración la diferencia entre las cualidades químicas de la matriz y de las fibras, pues en general las fibras de origen vegetal están compuestas en su mayoría por celulosa, la cual, posee características hidrofílicas (Jayamol, 2001). Una forma de generar una buena adhesión entre la matriz y las fibras naturales, es la modificación de la interfase, lo que implica generalmente tratar las fibras naturales, ya sea con métodos físicos o químicos.

Los tratamientos físicos, van encaminados principalmente a ocasionar un cambio en la superficie de las fibras, para que éste sea capaz de aportar las cualidades de adhesión necesarias dentro del compuesto polimérico; entre las técnicas más usadas están el plasma a baja temperatura, la descarga corona y el tratamiento con energía ionizante (Jayamol, 2001).

En un trabajo de investigación (Romero, 2003), se preparó un material utilizando bagazo de caña y polietileno de baja densidad, y se procedió a utilizar radiación gamma en dos formas, la primera por irradiación de las fibras naturales y la segunda, irradiando el material compuesto (para inducir la reticulación de la matriz polimérica y de ese modo crear una malla para incorporar a las fibras); los resultados mostraron mejoras en la resistencia a los esfuerzos de flexión para el material irradiado, con un incremento del 31%.

Se trataron fibras de algodón (Takács, 2000) con una combinación de radiación gamma y tratamiento alcalino con hidróxido de sodio (al 14%), los cambios presentados se analizaron mediante FTIR, XRD y SEM. Los resultados indicaron que a partir de los 100 kGy de irradiación el grado de polimerización sufre un decremento de hasta 40%; y en forma paralela, comienza a presentarse un cambio en la cristalinidad de la celulosa (cambiando de celulosa I a celulosa II).

Pickering et al., (2016), también mencionan la opción de usar la radiación de electrones para mejorar el enlace interfacial con fibras naturales y Polipropileno, y señalan mejoras en la fuerza de los enlaces que oscilan entre el 21% y el 53%; lo que se explica como consecuencia de la producción de radicales libres que favorecen la reticulación entre la fibra y la matriz.

En una revisión bibliográfica realizada por Misnon et al. (2014), mencionan la importancia de considerar que cuando se elaboran composites utilizando fibras naturales como refuerzo, es vital considerar que los productos obtenidos pueden presentar deficiencias debido a la dispersión de la fibra dentro de la matriz, esto se origina por la dificultad para alinear las fibras de forma uniforme; enfocan su revisión en trabajos que usaron materiales tejidos o bien en forma de hilos, para lograr una alineación y concentración uniforme de las fibras dentro del composite; pero

mencionan la dificultad de los procesos y sugieren que los estudios se enfoquen en lograr cambios estructurales en las fibras textiles naturales encaminados a lograr una mejora en la interfase matrix-fibra, para obtener resultados que permitan en un futuro el uso de estos composites en actividades para las cuales sus cualidades mecánicas deben verse incrementadas.

Bledzki y Gassan (1999) realizaron una revisión bibliográfica en la que profundizan sobre la importancia de propiciar una buena interfase entre las fibras de celulosa (con su carácter hidrofílico) y matrices poliméricas con temperaturas de catálisis superiores a los 100 °C; mencionan que si las fibras no están lo más secas posible, el contenido de agua en ellas será liberado dentro del polímero, como consecuencia del aumento en la temperatura hasta el punto de ebullición del agua, generando la aparición de puntos vacíos dentro de la matriz, conduciendo a una disminución de las propiedades mecánicas de los compuestos reforzados con las fibras; se mencionan mejoras superiores al 10% en pruebas de tracción aplicadas sobre fibras húmedas y secas de fibras de celulosa. En esta revisión bibliográfica se menciona también que aunado a la consideración de usar las fibras lo más secas posible, es importante considerar un tratamiento de las mismas, el cual puede ser:

- Físico: este tratamiento no cambia la estructura química de las fibras, sino solo su estructura superficial (estiramiento, calandrado, termo tratamiento, hibridación, tratamiento corona por descargas eléctricas, tratamiento con plasma frío), y
- Químico: Cuando dos materiales son incompatibles, a menudo es posible lograr compatibilidad introduciendo un tercer material, que tiene propiedades intermedias entre las de las otras dos.

Tratamiento con energía ionizante (radiación gamma)

La radiación ionizante indirecta es producida por partículas sin carga. Los tipos más comunes de radiación ionizante indirecta son los generados por fotones con energía

superior a 10 keV (rayos X y rayos gamma) y todos los neutrones. La radiación gamma es radiación electromagnética emitida por un núcleo cuando experimenta una transición de un estado de energía más alta a un estado energético más bajo. El número de protones y neutrones del núcleo no varía en estas transiciones (Martínez-López, 2012).

Los fotones de los rayos X y gamma interactúan con la materia y causan ionización de tres maneras diferentes, como mínimo:

- Los fotones de energía más baja interactúan sobre todo el material mediante el efecto fotoeléctrico (Figura 2.4), por el que el fotón cede toda su energía a un electrón, que entonces abandona el átomo o molécula. El fotón desaparece.

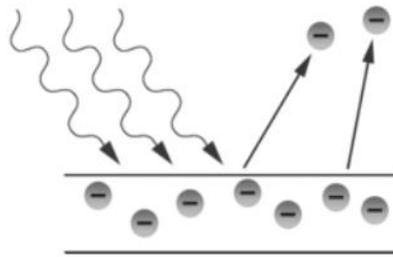


Figura 2.4. Efecto fotoeléctrico.

- Los fotones de energía intermedia interactúan fundamentalmente mediante el efecto Compton (Figura 2.5), en virtud del cual el fotón y un electrón colisionan esencialmente como partículas. El fotón continúa su trayectoria en una nueva dirección con su energía disminuida, mientras que el electrón liberado parte con el resto de la energía entrante (menos la energía de unión del electrón al átomo o a la molécula).

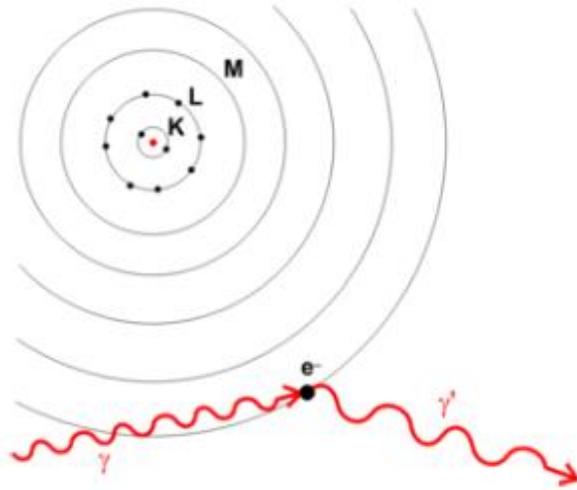


Figura 2.5. Efecto Compton.

- La producción de pares (Figura 2.6) sólo es posible con fotones cuya energía sea superior a 1,02 MeV. El fotón desaparece, y en su lugar aparece una pareja electrón-positrón (este fenómeno sólo ocurre en la proximidad de un núcleo, por consideraciones de conservación del momento cinético y de la energía). La energía cinética total del par electrón-positrón es igual a la energía del fotón menos la suma de las energías de la masa residual de electrón y positrón (1,02 MeV) (Martínez-López, 2012).

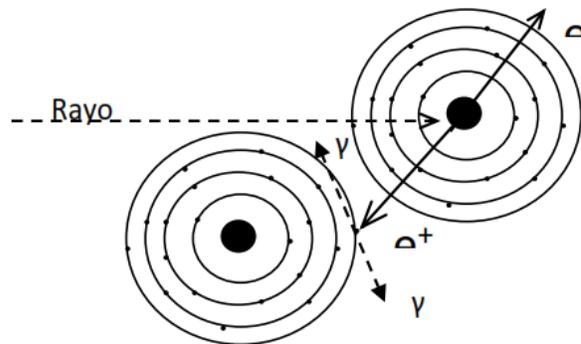


Figura 2.6. Formación de pares

La irradiación de polímeros por rayos gamma, produce diferentes efectos en las cadenas que los constituyen, como la formación de enlaces entre cadenas (crosslinking), rotura de cadenas (chain scission), daño en regiones cristalinas, desprendimiento de radicales que integran las unidades monoméricas u oxidación e inclusive la modificación del peso molecular de algunos polímeros por cambios en propiedades físicas y químicas. En general, todos estos mecanismos contribuyen, en mayor o en menor medida, a modificar el comportamiento mecánico de los polímeros. Los cambios en las propiedades de un polímero después de la irradiación, se deben primeramente a la reordenación geométrica de su estructura de enlace. Algunas propiedades mecánicas se pueden explicar en función de la rigidez de las cadenas que tiende a evitar que estas se deslicen sobre otras como consecuencia de la orientación de las cadenas laterales, induciendo un cierto grado de cristalinidad. La irradiación puede constituir un efecto beneficioso para un polímero si se desea incrementar el grado de polimerización o el reticulado de la estructura macromolecular (Martínez-López, 2012).

3. JUSTIFICACIÓN

Una de las mayores preocupaciones en la actualidad es el deterioro del ecosistema mundial. Diariamente se puede escuchar en los medios de comunicación, que aunado al avance de la ciencia y la tecnología, se está incrementando exponencialmente el daño ecológico. Pero al parecer, la conciencia del ser humano está cada vez más despierta, y poco a poco se han venido popularizando diversas estrategias para minimizar o bien, intentar revertir el daño al medio ambiente, una de las estrategias más populares es la conocida como política de las “tres eres”, la cual exhorta a la población a reducir, reciclar y reusar.

Una de las tantas industrias que están en constante desarrollo debido a la creciente demanda de sus productos es la industria textil. La población cada vez más identificada con los patrones comerciales de una moda cambiante y efímera, se ha convertido en un consumidor asiduo de prendas de vestir, que rápidamente pasan de moda, y por consecuencia son desechadas cada vez con mayor rapidez, incrementando la generación de residuos sólidos domésticos, que por consecuencia, generan un problema ambiental al momento de resolver su disposición final.

Dentro de las prendas de vestir más populares en el mundo, se encuentran las confeccionadas en tela conocida como mezclilla (o denim), con la cual se elaboran los blue jeans (o pantalones de mezclilla). Es innegable el hecho de que es difícil encontrar a una persona que no cuente con al menos un par de jeans en su guardarropa; y partiendo de esta premisa, resulta lógico pensar que una vez que estos terminan con su vida útil, pasan a formar una parte importante de los desechos textiles que se generan dentro del total de los desechos sólidos urbanos.

Por otra parte, la necesidad de desarrollar materiales de construcción cada vez más eficientes, con mejores cualidades mecánicas y estéticas, están llevando a los investigadores a desarrollar propuestas encaminadas a aportar dichas mejoras;

actualmente el desarrollo de diferentes tipos de materiales compuestos, conocidos como concretos poliméricos, están dando a la industria de la construcción alternativas interesantes.

El mercado de la construcción tiene ahora una nueva opción en los concretos poliméricos, los cuales les ofrecen cualidades como ligereza (con una tercera parte del peso del concreto hidráulico), alta resistencia (resistencia a la compresión, flexión y tracción desde tres hasta cinco veces mayor que la del concreto hidráulico), resistencia a ataques químicos, al ambiente y otras formas de deterioro, menores costos de instalación, estabilidad bajo condiciones de congelación y descongelación, baja absorción de agua (menor del 1%) y propiedades de aislante eléctrico por lo que no requiere conexión a tierra, entre otras.

Si se aplica a un polímero radiaciones ionizantes (tales como la radiación gamma) se producirán efectos físicos y químicos que dependen en su intensidad de la dosis aplicada y de la naturaleza de los polímeros irradiados; los polímeros tienen una gran sensibilidad a cambios en los enlaces químicos, por lo que al ser tratados con radiación gamma tienden a cambiar sus propiedades de cristalinidad, densidad, coeficiente de expansión térmica, módulo de elasticidad, permeabilidad, así como la resistencia a la corrosión, a la abrasión y a disolventes.

Además, la irradiación de polímeros por rayos gamma, produce diferentes efectos en las cadenas que los constituyen, como la formación de enlaces entre cadenas (crosslinking), rotura de cadenas (chain scission), daño en regiones cristalinas, desprendimiento de radicales que integran las unidades monoméricas u oxidación e inclusive la modificación del peso molecular de algunos polímeros por cambios en propiedades físicas y químicas, con lo cual se logra modificar el comportamiento mecánica de los polímeros. La irradiación puede ser considerada como un tratamiento beneficioso para un polímero, pues se incrementa el grado de polimerización.

Por lo anterior en este trabajo de investigación se buscara obtener un material compuesto utilizando como material de refuerzo fibras textiles de algodón que se obtendrán de blue jeans de desecho (buscando aportar una opción de reuso de estos residuos), resina poliéster y un agregado mineral (marmolina fina) para obtener un concreto polimérico de cualidades mecánicas y estéticas mejoradas, al ser comparado con el material sin utilizar las fibras textiles de refuerzo; además se propone que los materiales compuestos sean irradiados con radiación gamma (de 100-1000 kGy), para intentar modificar las cualidades físicas y químicas del compuesto, y se evaluaran sus propiedades mecánicas. Así mismo, para poder tener un punto de comparación de los cambios inducidos por la irradiación del concreto polimérico propuesto, se considera en otra parte del experimento, irradiar las fibras textiles, antes de proceder a preparar los compósitos.

Finalmente se recapitula en la intención de obtener un material de construcción, con cualidades que le permitan ser considerado como una propuesta interesante para el mercado, sin perder el enfoque ecológico que en la actualidad es tan importante en los temas de investigación.

4. HIPÓTESIS

Cuando las fibras textiles obtenidas de blue jeans de desecho se tratan con radiación gamma, es posible cambiar las cualidades físicas y químicas de éstas; y dichos cambios mejoran las propiedades mecánicas de un concreto polimérico preparado utilizándolas como material de refuerzo.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Demostrar que la aplicación de radiación gamma sobre las fibras textiles obtenidas de blue jeans de desecho, da como resultado la modificación de propiedades físicas y químicas de las mismas, lo cual tiene repercusión sobre las propiedades mecánicas que se presentan en un concreto polimérico preparado utilizando dichas fibras como material de refuerzo.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Caracterizar las fibras textiles obtenidas de blue jeans de desecho mediante las técnicas de Microscopía electrónica de barrido (SEM), Espectrometría Infrarroja (FT-IR), Calorimetría diferencial de barrido (DSC) y Difracción de rayos X (DRX).

Caracterizar los cambios que se presentan en las fibras textiles obtenidas de blue jeans de desecho, después de ser sometidas a diferentes cantidades de radiación gamma, mediante las técnicas de Microscopía electrónica de barrido (SEM), Espectrometría Infrarroja (FT-IR), Calorimetría diferencial de barrido (DSC) y Difracción de rayos X (DRX).

Caracterizar las propiedades mecánicas del concreto polimérico preparado con fibras textiles obtenidas de blue jeans de desecho sin irradiar.

Caracterizar las propiedades mecánicas del concreto polimérico preparado con fibras textiles obtenidas de blue jeans de desecho irradiadas.

Caracterizar las propiedades mecánicas del concreto polimérico preparado con fibras textiles obtenida de blue jeans de desecho (sin irradiar), después de que dicho compuesto sea irradiado a diferentes cantidades de radiación gamma.

Analizar los cambios en las propiedades mecánicas que se presentan en los concretos poliméricos preparados con las tres opciones propuestas y comparar los resultados.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Preparación de las fibras textiles obtenidas de blue jeans de desecho

Las fibras textiles se obtuvieron de blue jeans de desecho, etiquetados por el fabricante como 100% algodón. Primeramente se procedió a cortar pedazos de 1 x 1 cm (figura 6.1a); los cuales se redujeron de tamaño en un molino de cuchillas, empleando 4 ciclos de 15 segundos cada uno, hasta obtener tamaños menores a 1 cm de longitud en las fibras tejidas de la trama (figura 6.1b).

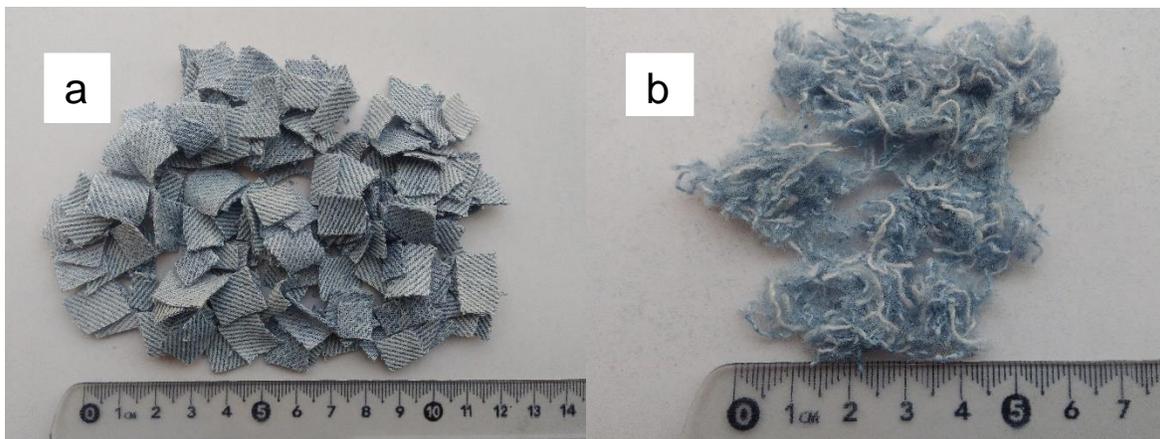


Figura 6.1. a) Tiras de fibras de algodón, y b) Fibras molidas de blue-jeans

6.2 Preparación del concreto polimérico

Se prepararon probetas de concreto polimérico (Figura 6.2), con dimensiones de 4x4x20 cm (especificaciones impuestas por la norma europea EN-196-1), utilizando diferentes proporciones de resina poliéster comercial (proveedor Poliformas Plásticas, PP-70X60), polvo de marmol y fibras textiles; la resina usada estaba preacelerada con octoato de cobre y se utilizo peróxido de methyl etil cetona como catalizador.



Figura 6.2. Molde para preparación de probetas

6.2.1 Concreto polimérico sin material de refuerzo

En una primera etapa, se ensayaron diferentes proporciones de resina polyester y agregado mineral (polvo de marmol), con el objetivo de encontrar la proporción con las mejores cualidades mecánicas. Las proporciones preparadas fueron 20, 30 y 40 % en peso de resina polyester.

6.2.2 Concreto polimérico reforzado con fibras textiles de desecho sin irradiar, e irradiación del concreto polimérico.

En una segunda etapa, se procedió a preparar el concreto polimerico reforzado con fibras textiles de desecho (figura 6.3), en una proporción de 0.5, 1.0 y 1.4 % en peso de fibras textiles sin ningún tratamiento.

En una tercera etapa se procedió a irradiar con diferentes dosis de radiación gamma (100-500 kGy) el concreto polimérico con las mejores cualidades mecánicas

obtenido en la etapa 2 (30% resina poléster / 29% polvo de mármol / 1% fibras textiles de desecho) y a este concreto se le nombro concreto A.



Figura 6.3. Resina polyester/Polvo de mármol/fibras textiles

6.2.3. Preparación de concreto polimérico reforzado con fibras textiles de desecho irradiadas.

Se prepararon probetas utilizando una proporción 30% resina poléster / 29% polvo de mármol / 1% fibras textiles de desecho irradiadas (bajo las mismas dosis utilizadas para el concreto A).

6.3 Análisis de desempeño mecánico del concreto polimérico. Resistencia a los esfuerzos de compresión y flexión

La resistencia a los esfuerzos de compresión y flexion de los diferentes especímenes de concreto polimérico fueron realizados de acuerdo a lo indicado en la norma europea EN-196-1, en una máquina de prueba universal modelo 70-S17C2 (ControlsTM, Cernusco, Italia) (figura 6.4). Se llevó a cabo una prueba de flexión de tres puntos con una distancia entre los soportes de 10 cm.



Figura 6.4. Máquina de prueba universal modelo 70-S17C2 (ControlstM, Cernusco, Italia)

6.4 Caracterización de las fibras textiles irradiadas

6.4.1 Caracterización morfológica de fibras textiles

Las superficies de fibras textiles se analizaron por microscopía electrónica de barrido (SEM) en un equipo modelo JEOL JSM-5900LV en el modo de electrones secundario, a 20 keV.

6.4.2 Difracción de rayos X

Los patrones de difracción de rayos X de fibras no irradiadas e irradiadas se obtuvieron en un difractómetro BrukerD8 Advance, operado a 35 kV. El patrón de difracción se obtuvo escaneando la muestra en un ángulo de intervalo (2θ) de 10° a 30° , y una velocidad de $0.5^\circ / \text{min}$.

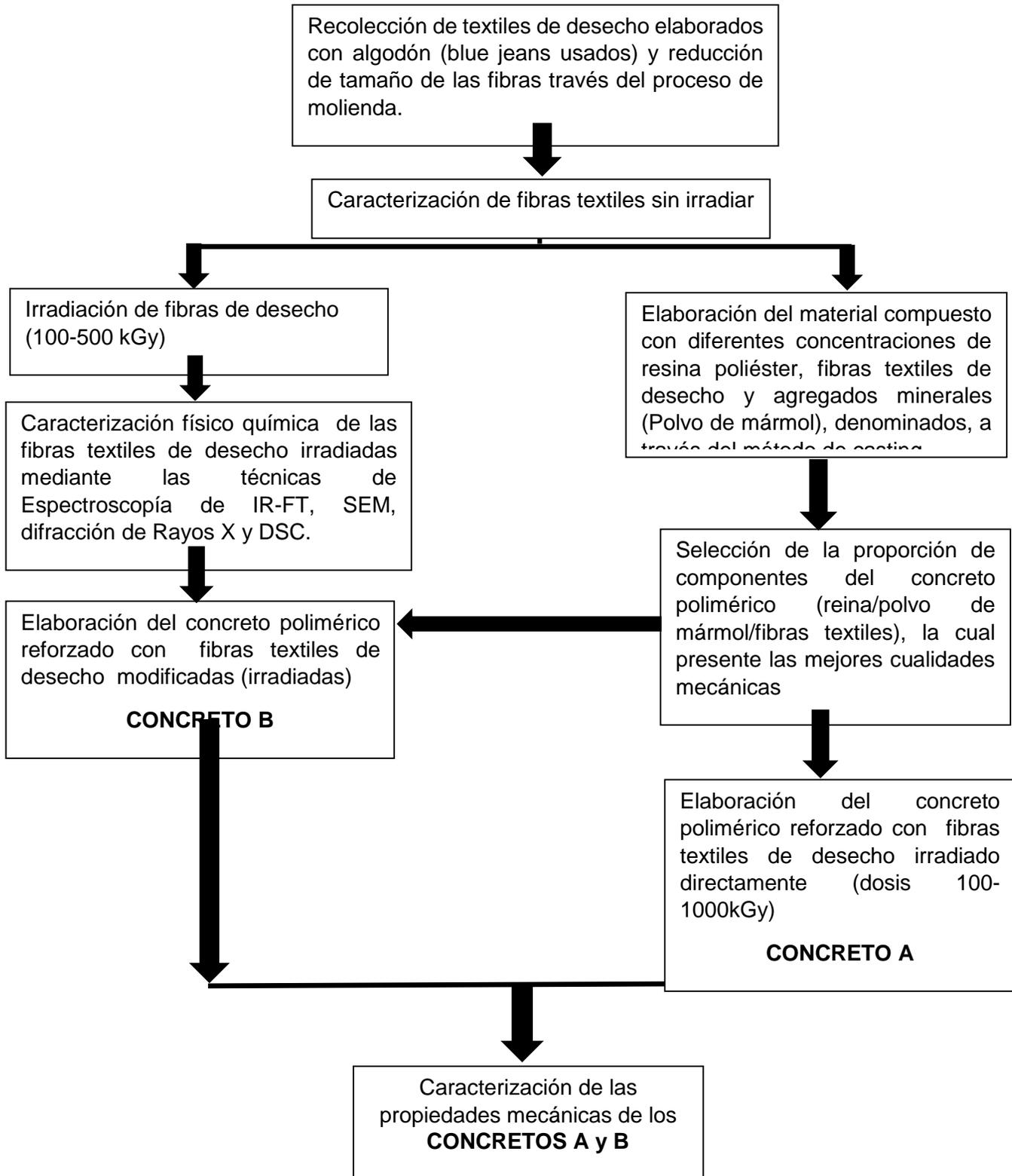
6.4.3 Espectrofotometría FT-IR

Los espectros FT-IR de fibras textiles no irradiadas e irradiadas se obtuvieron en un espectrómetro marca prestige 21 con accesorio HART de diamante. Las muestras fueron leídas en el intervalo de IR medio ($4500\text{-}550\text{ cm}^{-1}$), una resolución de 8 cm^{-1} y 32 barridos.

6.5. Procedimiento de irradiación

Las fibras textiles y las muestras de concreto polimérico se expusieron a diversas dosis de radiación gamma. Las fibras se colocaron en un tubo de capilaridad. Las dosificaciones fueron 100-1000 kGy (para el concreto fueron de 100-500 kGy) a una tasa de dosis de 3.5 kGy / h; los experimentos se realizaron en aire a temperatura ambiente. La irradiación se proporcionó utilizando un irradiador Transelektro LGI-01 provisto de una fuente de ^{60}Co fabricada por IZOTOP Institute of Isotopes Co. Ltd., Budapest, Hungría, y ubicada en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares de México (ININ).

6.6. Diseño experimental



7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Caracterización del concreto polimérico sin material de refuerzo

Se prepararon concretos poliméricos con diferentes proporciones de resina polyester (20, 30 y 40% en peso), para encontrar la proporción con las mejores cualidades mecánicas. Los resultados obtenidos se ilustran en la figura 7.1, y mostraron que para la resistencia a los esfuerzos de compresión se tuvo una disminución en la resistencia del material del 6% cuando se utiliza 30% de resina poliéster en el concreto polimérico (comparado con el material preparado con 40% de resina poliéster); por otra parte, el grado de deformación disminuyó de 0.054 hasta 0.044 mm/mm, lo que representó un cambio de 23% en la deformación del material, lo cual se atribuye directamente a las cualidades de flexibilidad de la resina poliéster.

Cuando se utilizó 20% de resina poliéster el concreto polimérico obtenido presentó el menor valor de resistencia a la compresión (82 MPa), lo cual puede explicarse por el hecho de que a mayor concentración de polvo de mármol, el contacto de éste con la matriz polimérica se hace menor, y como consecuencia, el material presenta una estructura debilitada por la deficiente homogeneidad en la composición.

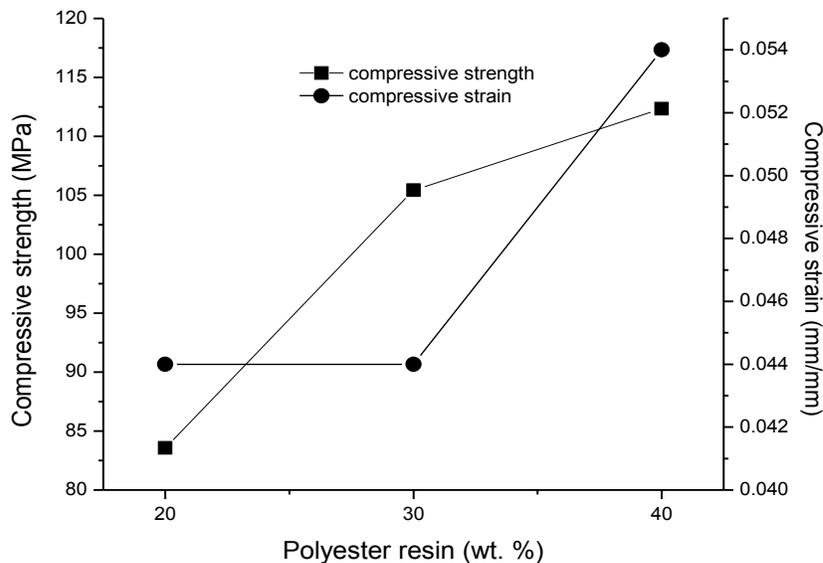


Figura 7.1. Resistencia y deformación bajo los esfuerzos de compresión del concreto polimérico con diferentes proporciones de resina poliéster.

Los resultados para el modulo de Young bajo los esfuerzos de compression (Figura 7.2) , mostraron una diferencia de 9% cuando la concentracion de la resina se incrementa del 30% to 40%. Este resultado indica que el material es menos flexible al utilizar 30% de resina polyester. Estos cambios en las propiedades mecánicas de concreto polimérico se debieron a que el material mineral aporta mayor resistencia a la compression, y al agregarse en menor cantidad, da como resultado un incremento en las cualidades de flexibilidad, debidas a la elevación de la proporción de la resina.

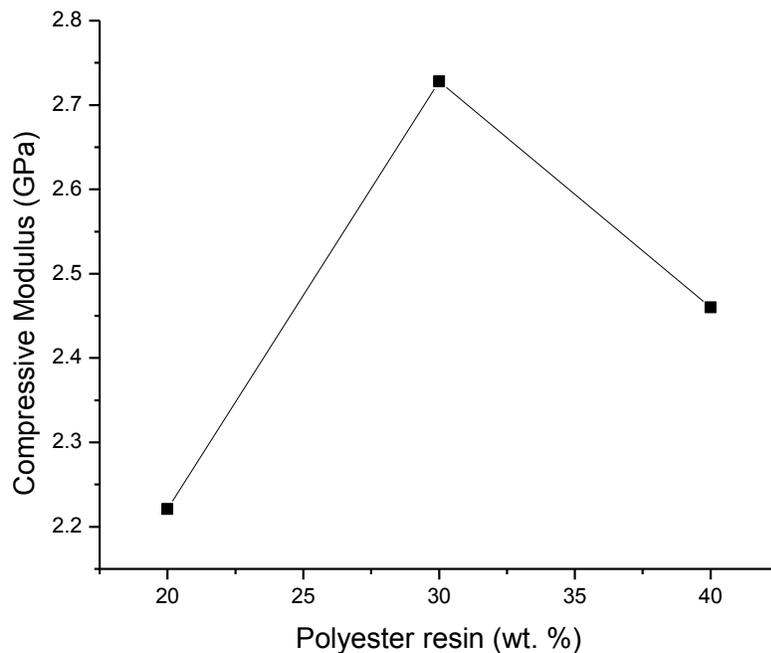


Figura 7.2. Módulo de elasticidad a la compresión del concreto polimérico preparado con diferentes proporciones de resina poliéster.

En lo referente a la resistencia a los esfuerzos de flexion del concreto polimérico sin material de refuerzo, los resultados se muestran en la figura 7.3, y el modulo de Young para los esfuerzos de flexion se ilustra en la figura 7.4. Los resultados indican un incremento de 25% en la resistencia a los esfuerzos de flexión al incrementar la proporción de resina polyester de 30 a 40% en el concreto polimérico; sin embargo, al cambiar estas proporciones, se presentó un aumento cercano al 47% en la

deformación al esfuerzo de flexión. Dichos resultados resultaron lógicos debido a que al disminuir la concentración del componente mineral, se obtiene un concreto con mayor flexibilidad (debida a las cualidades propias de la resina poliéster).

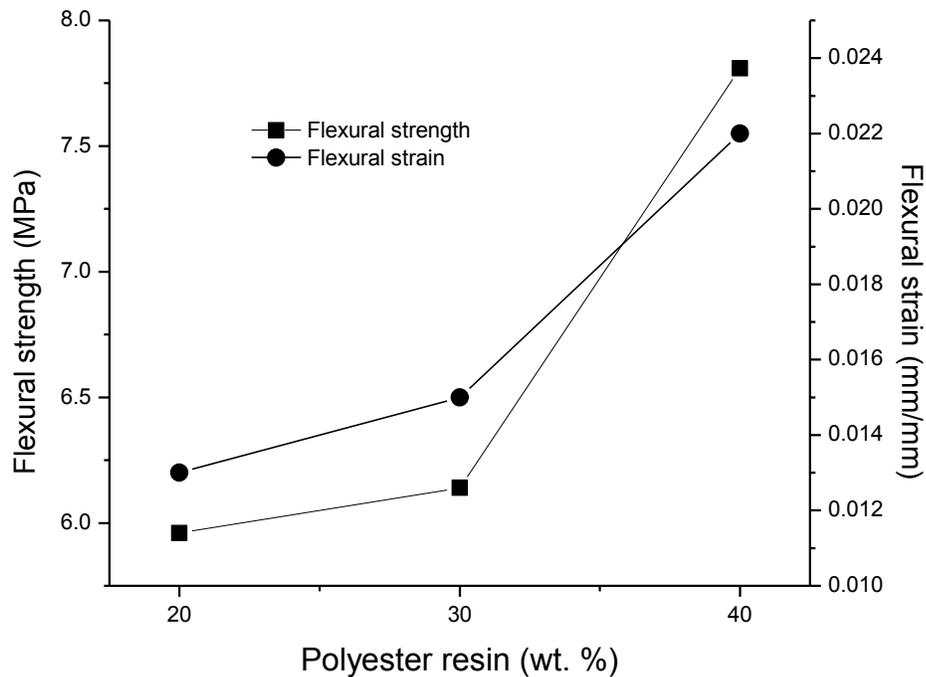


Figura 7.3. Resistencia y deformación bajo los esfuerzos de flexión del concreto polimérico con diferentes proporciones de resina poliéster.

Los resultados reflejados en el gráfico 7.3, son acordes a los valores para el módulo de Young representados en el grafico 7.4; puede observarse que una mayor proporción de resina en el concreto polimérico, le infiere a éste una mayor flexibilidad. Los resultados indican un decremento de 5% en el módulo de Young al incrementar la proporción de resina polyester de 30 a 40% en el concreto polimérico.

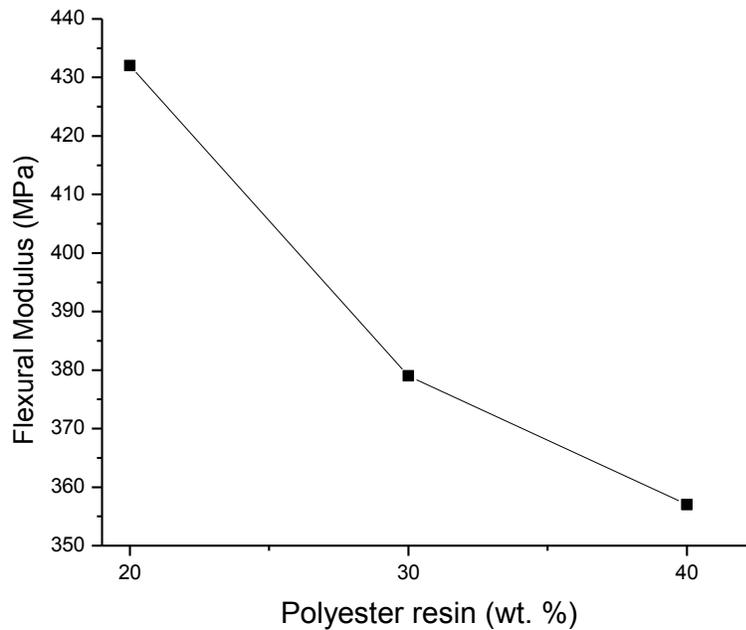


Figura 7.4. Módulo de elasticidad a la flexión del concreto polimérico preparado con diferentes proporciones de resina poliéster.

De acuerdo con los resultados obtenidos para las pruebas de compresión, donde se observaron valores de 105 MPa de resistencia a la compresión, con una deformación de 0.05 mm/mm, al utilizar una proporción del 30% de resina poliéster, dichos resultados fueron comparados con los valores obtenidos al incrementar la concentración de resina a 40% (112 MPa y 0.052 mm/mm), y las diferencias presentadas para los esfuerzos de compresión resultaron poco significativas. Por otra parte, al revisar del mismo modo, los resultados obtenidos en las pruebas mecánicas de flexión, los valores observados al utilizar 30% de resina poliéster fueron de 6.5 MPa para el esfuerzo de flexión y una deformación de 0.013 mm/mm, mientras que al usar 40% fueron de 7.5 MPa y 0.022 mm/mm; lo que indicó una ligera mejora en las propiedades mecánicas del concreto polimérico al usar 40% de resina poliéster. Además, debido a que un factor determinante en la elaboración del concreto polimérico, es el costo de producción y dado que las diferencias en las propiedades mecánicas del concreto preparado con 30% y 40% de resina son mínimas, se decidió elaborar el concreto polimérico con 30% de resina de poliéster

y 70% de polvo de mármol para continuar con la siguiente etapa de la fase experimental, que consistió en agregar fibras textiles como material de refuerzo.

7.2. Caracterización del concreto polimérico reforzado con fibras textiles sin irradiar

Una vez que se determinó la proporción de resina/polvo de mármol que se usaría en la siguiente etapa de la investigación (30% resina poliéster/70% polvo de mármol), se procedió a preparar concreto polimérico reforzado con diferentes proporciones de fibras textiles, los porcentajes ensayados fueron 0.5, 1.0 y 1.4% en peso.

En la figura 7.5 se ilustran los resultados obtenidos para las pruebas de resistencia a los esfuerzos de compresión. Los valores de la resistencia a la compresión disminuyen conforme se incrementa la concentración de las fibras textiles en el concreto polimérico. Se observó una disminución máxima en la resistencia del 8% con respecto al control (0% de fibras textiles) cuando se utilizó un 1% de fibras textiles de refuerzo.

En lo que respecta a la deformación bajo los esfuerzos de compresión, puede observarse un incremento del 7% para el concreto con 0.5% de fibra textil, respecto al valor del concreto de control.

Las pruebas mecánicas de compresión mostraron que la adición de las fibras textiles representó una disminución en la resistencia y un aumento en la deformación del material obtenido (comparándolo con el material de control). La razón de lo anterior puede ser atribuida a una deficiente interfase entre la matriz polimérica y las fibras textiles, que puede atribuirse a que las características físico-químicas de la superficie de las fibras generaron una incompatibilidad con la resina.

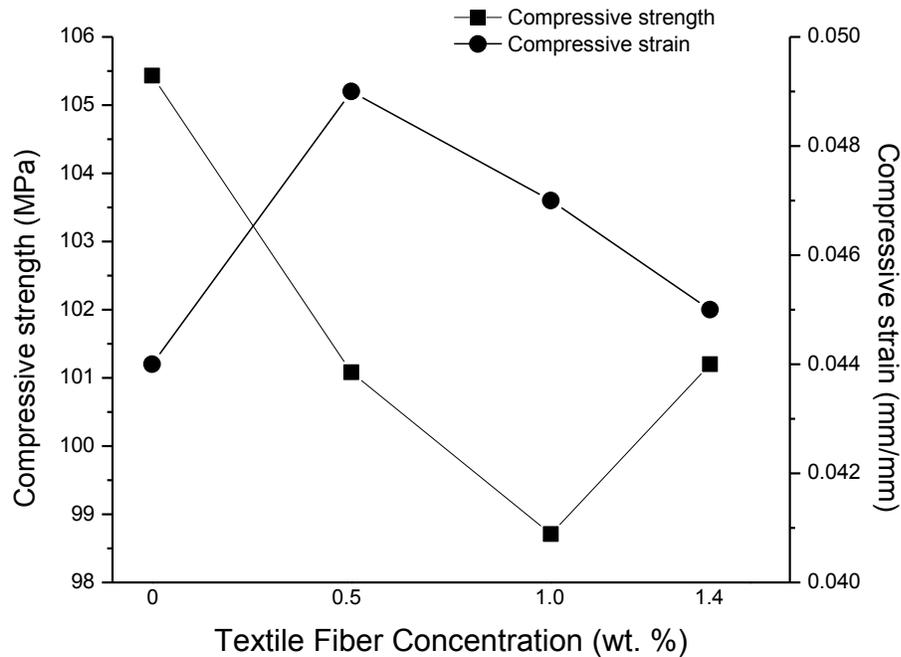


Figura 7.5. Resistencia y deformación bajo los esfuerzos de compresión del concreto polimérico reforzado con diferentes proporciones de fibras textiles.

La figura 7.6 ilustra los resultados obtenidos para el módulo de Young para los esfuerzos de compresión del concreto polimérico con diferentes concentraciones de fibra textil; los resultados indican que al utilizar 1.0 % wt de fibra textil, se alcanza una diferencia máxima del 12% respecto al valor del concreto de control. Se pudo observar que en general la adición de fibras textiles se traduce en un decremento en la flexibilidad del material bajo los esfuerzos de compresión; lo anterior se explica del mismo modo que lo dicho anteriormente, que es el resultado de una deficiente interfase entre las fibras y la matriz polimérica.

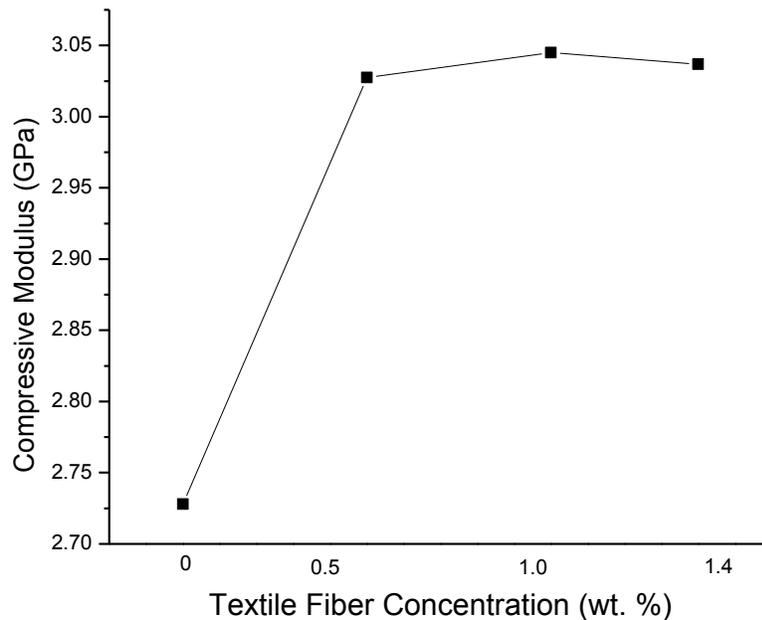


Figura 7.6. Módulo de elasticidad a la compresión del concreto polimérico preparado con diferentes proporciones de fibras textiles

En lo referente al comportamiento del concreto polimérico bajo el efecto del esfuerzo de flexión, los resultados obtenidos se ilustran en la figura 7.7. Puede observarse, que al utilizar 1.0 % wt, la diferencia con el control es de 10%, y que esta diferencia indicó un aumento en la resistencia a la flexión (efecto contrario a lo sucedido en la resistencia a la compresión). La deformación análogamente, también sufrió un incremento de 26% contra el valor reportado por el control. Las diferencias presentadas sugieren que la adición de las fibras textiles aportó mayor resistencia y un aumento en la deformación a la flexión al usar 1.0% wt de fibra textil. Esto puede explicarse como una consecuencia de la forma en la que las fibras fueron adicionadas, pues éstas fueron dispersadas en forma aleatoria dentro del concreto polimérico y sin respetar ningún patrón de dirección, lo cual hizo un efecto similar al de una telaraña en todas las direcciones dentro del concreto; dicha disposición mejoró la resistencia a la flexión. Sin embargo, no debe perderse de vista que los resultados de las pruebas de compresión acusan una interfase deficiente entre la matriz polimérica y las fibras textiles.

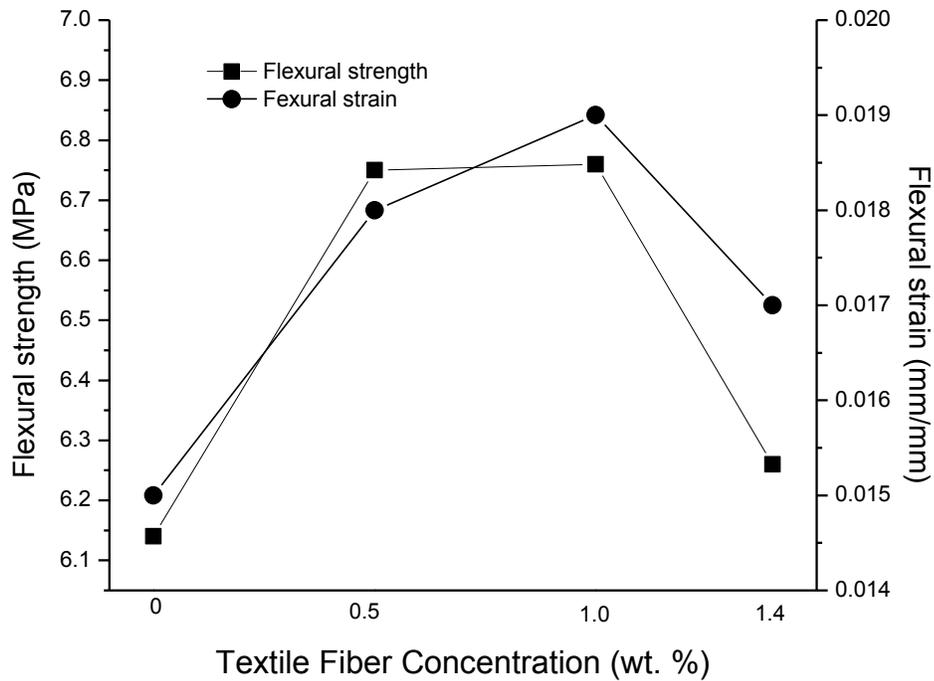


Figura 7.7. Resistencia y deformación bajo los esfuerzos de flexión del concreto polimérico reforzado con diferentes proporciones de fibras textiles.

La figura 7.8 ilustra el módulo de Young para el esfuerzo de flexión; puede observarse una disminución máxima de 7% cuando se agregó 1.0% de fibra textil, respecto al valor del concreto control; lo cual indica que el concreto es más flexible al utilizar el 1% de la fibra textil. Lo que se mencionó para explicar los cambios presentados para los esfuerzos de flexión, aplica del mismo modo para explicar la razón por la cual el módulo de Young presenta para todas las proporciones de fibra textil, una disminución en la rigidez del material obtenido, es decir, que la disposición de las fibras dentro del material, aportan cualidades de flexibilidad al mismo.

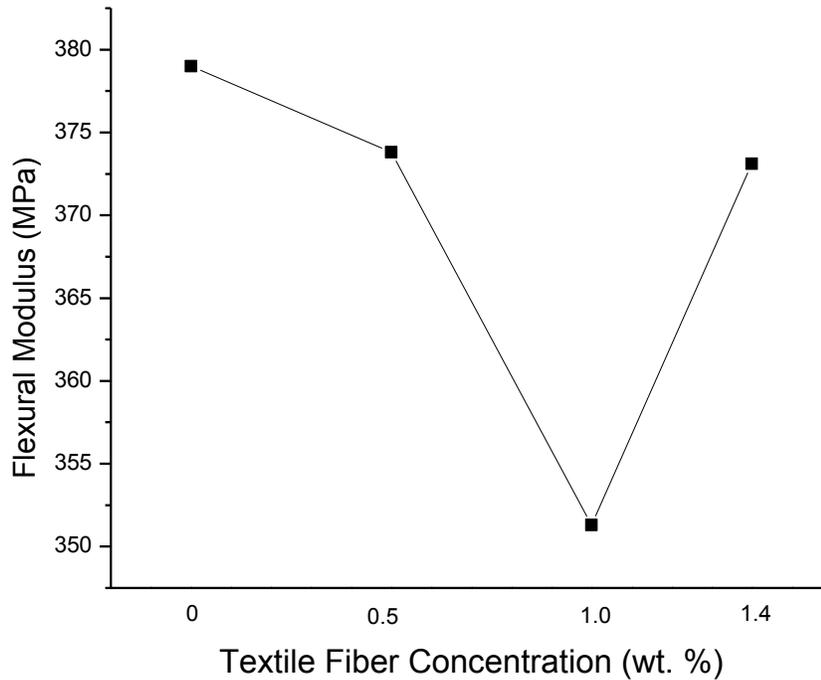


Figura 7.8. Módulo de elasticidad a la flexión del concreto polimérico preparado con diferentes proporciones de fibras textiles.

De acuerdo a los resultados obtenidos al adicionar las fibras textiles al concreto polimérico, pudo observarse que los resultados al utilizar 1% de fibras, son los que representaban el mayor reto para determinar la influencia de un tratamiento encaminado a mejorar la interfase fibras/matriz polimérica. En la siguiente etapa de la investigación se propuso para este fin el uso de la radiación gamma para lograr la modificación en las características de compatibilidad de la interfase, con el fin de mejorar las propiedades mecánicas del concreto polimérico.

7.3. Caracterización del concreto polimérico reforzado con fibras textiles irradiado directamente (Concreto A)

En esta etapa de la investigación se procedió a preparar concreto polimérico con las proporciones establecidas en las etapas precedentes, las cuales fueron 30% resina pliester/69% polvo de mármol/1% de fibras textiles; se procedió a irradiar el concreto con diferentes dosis de radiación gamma, y se caracterizaron las propiedades mecánicas del concreto irradiado. En la figura 7.9 puede observarse un incremento del 37% en la resistencia a los esfuerzos de compresión, al irradiar el concreto a 300 kGy (comparando con el control sin irradiar). En lo que se refiere a la deformación, se alcanza un incremento del 15% al irradiar a 100 kGy (comparada con el control); lo que indica que el concreto irradiado se deforma más que el concreto sin irradiar cuando es sometido a un esfuerzo de compresión. El incremento en todos los casos de la resistencia a los esfuerzos de compresión con respecto al control, dejó de manifiesto que las modificaciones logradas sobre el concreto al ser irradiado, representaron una mejora en la interfase con la matriz polimérica.

En el caso del módulo de Young para los esfuerzos de compresión (Figura 7.10), se observó una disminución de hasta 7%, para concreto irradiado a 500 kGy, lo que indicó que el material reaccionó con mayor ductilidad ante los esfuerzos de compresión al ser irradiado. La mejora presentada en la flexibilidad bajo los esfuerzos de compresión, se piensa se debió a la transferencia de tensiones entre los componentes del concreto polimérico. Se asume que las fibras textiles irradiadas, presentan una mejor interacción con la matriz polimérica, debido al cambio en sus cualidades morfológicas y de cristalinidad como resultado de la irradiación.

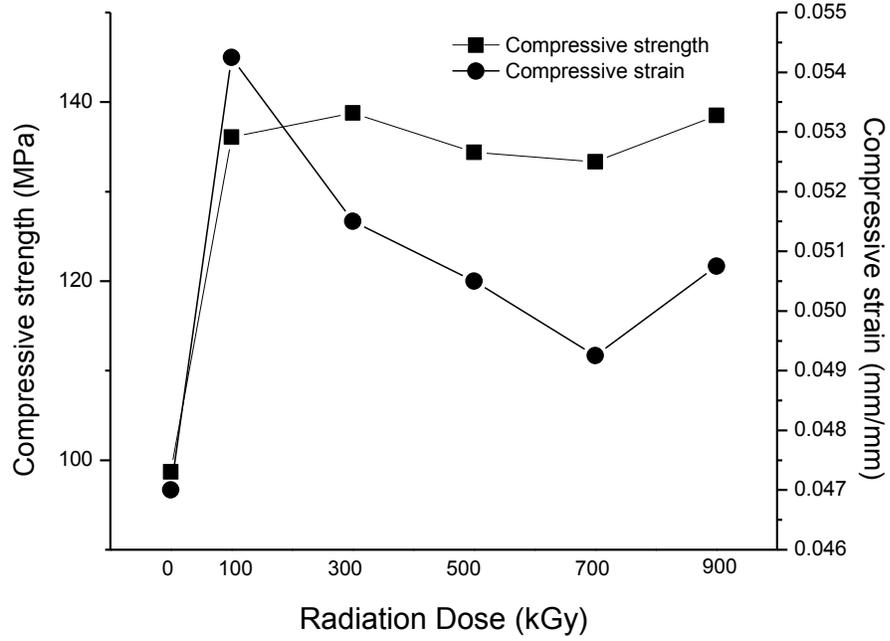


Figura 7.9. Resistencia y deformación bajo los esfuerzos de compresión del concreto polimérico reforzado, irradiado directamente a diferentes dosis.

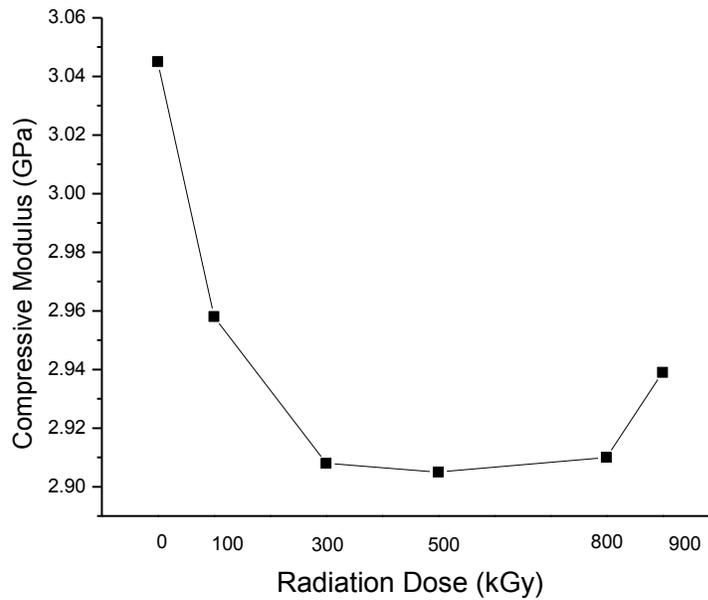


Figura 7.10. Módulo de elasticidad a la compresión del concreto polimérico reforzado, irradiado directamente a diferentes dosis.

Los resultados de las pruebas de flexión (Figura 7.11), ilustran una diferencia máxima del 12% al irradiar con 100 kGy; en lo referente a deformación, se observó una diferencia máxima de 7% al irradiar con 100 kGy. Se asume una mejora en las cualidades mecánicas del composito al ser irradiado, ambos parámetros, la resistencia a los esfuerzos de flexión y la deformación bajo los mismos, presentaron en general un incremento al irradiar el concreto, alcanzando un valor máximo al irradiar con 100 kGy; lo que puede interpretarse como un aumento en la flexibilidad del concreto polimérico al ser irradiado; lo cual se piensa, se debió por un lado a una mejora en la interfase entre la matriz y el material de refuerzo y por otra, a un incremento en el grado de polimerización de la resina poliéster, debido a los efectos de la radiación gamma.

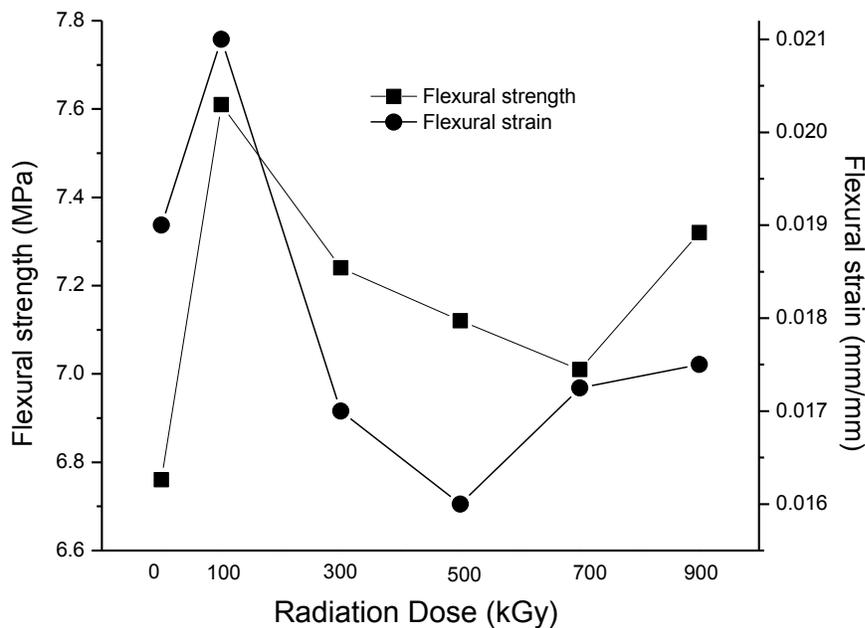


Figura 7.11. Resistencia y deformación bajo los esfuerzos de flexión del concreto polimérico reforzado, irradiado directamente a diferentes dosis.

La figura 7.12 ilustra los valores para el módulo de flexión, puede observarse un incremento máximo de 30% al irradiar el concreto a 300 kGy, lo que infiere una

disminución en la flexibilidad del material. Lo anterior se asume se debió a la mejora lograda en la interfase matriz/fibras textiles, así como a la forma anteriormente descrita en que las fibras se dispersaron en el compuesto, lo que resultó en un incremento en la rigidez del concreto a los esfuerzos de flexión, desde un valor de 350 MPa/(mm/mm) a 410 MPa/(mm/mm).

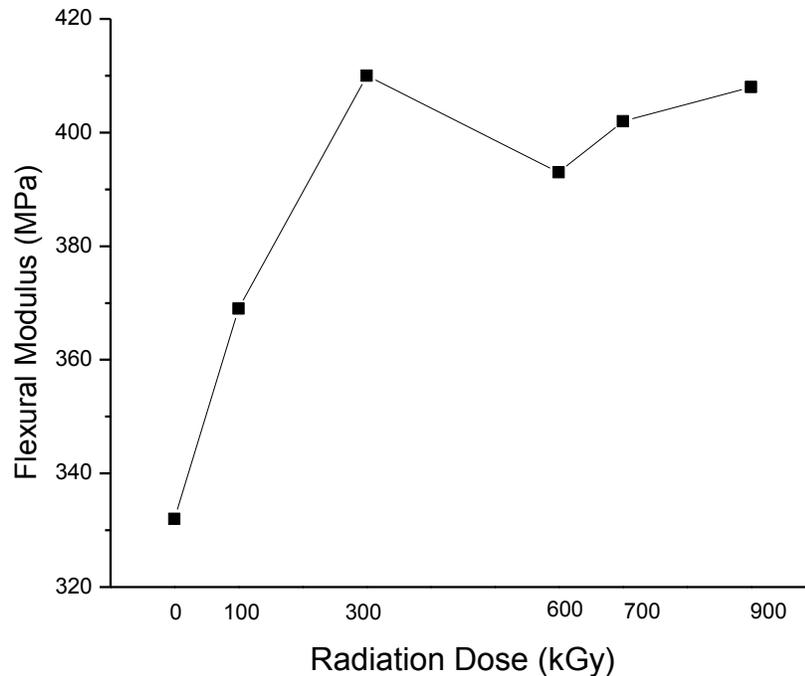


Figura 7.12. Módulo de elasticidad a la flexión del concreto polimérico reforzado, irradiado directamente a diferentes dosis.

Los resultados de la caracterización mecánica del concreto polimérico reforzado e irradiado directamente, arrojaron resultados que hacen evidente una mejora en la resistencia a los esfuerzos de compresión al comparar contra el control (sin irradiar). Los resultados para los esfuerzos de flexión, también señalaron a una mejora en la flexibilidad del concreto. Se comprobó que bajo todas las dosis de radiación ensayadas, el concreto polimérico superó en su desempeño mecánico al concreto sin irradiar. En la siguiente etapa de esta investigación, se procedió a preparar el concreto polimérico con fibras textiles irradiadas (no irradiando directamente el concreto).

7.4. Caracterización del concreto polimérico reforzado con fibras textiles irradiadas (Concreto B)

En esta parte de la investigación se procedió a hacer un comparativo entre las cualidades mecánicas de los concretos A y B. Los resultados bajo la aplicación de esfuerzos de compresión se representan en las figuras 7.13 y 7.14. En la figura 7.13 puede observarse que para ambos tipos de concreto y para todas las dosis de radiación, la resistencia a los esfuerzos de compresión presentó una mejora, siendo los valores máximos entre los 300 y 400 kGy. El concreto A presentó una mejora del 40.6% comparado con el concreto polimérico de control (0 kGy), mientras que el concreto B presentó una mejora del 26%. Los resultados muestran que el mejor desempeño se presentó en el concreto A, con una diferencia del 10.7% al compararlo con el concreto B; la interpretación a estos resultados es que en el caso del concreto A, se presentaron simultáneamente dos tipos de fenómenos, por un lado, la mejora en la interfase entre las fibras y la matriz (debido a la modificación fisicoquímica de las fibras textiles) y por el otro a un fenómeno de incremento en el grado de la reticulación de la matriz polimérica, lo que generó una estructura capaz de entrapar a las fibras textiles.

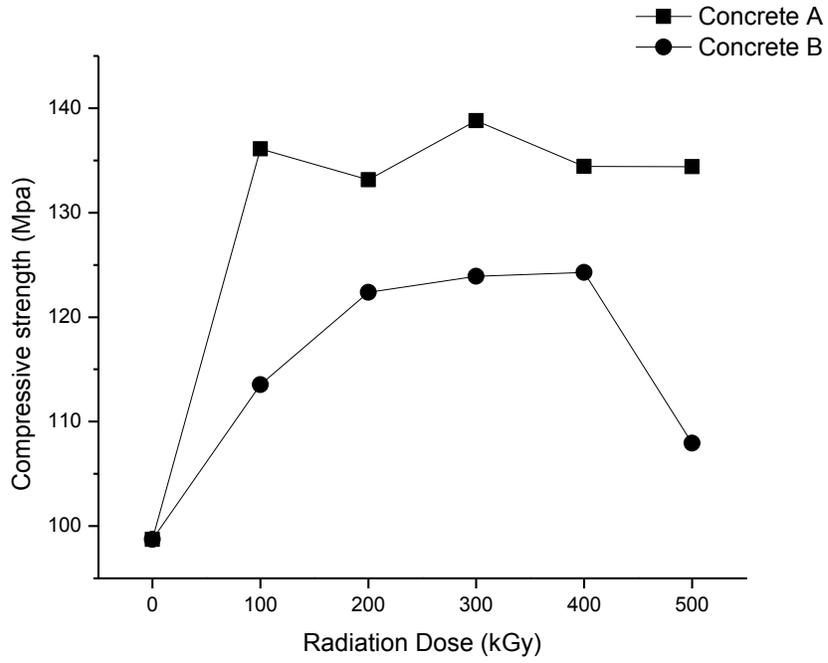


Figura 7.13. Resistencia a la compresión de los concretos A y B.

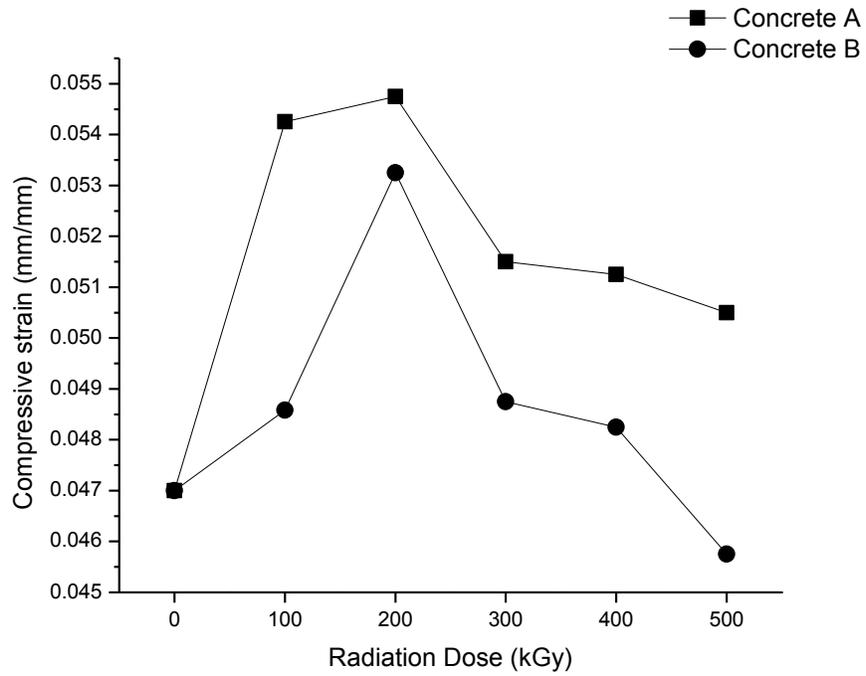


Figura 7.14. Deformación bajo los esfuerzos de compresión de los concretos A y B

La figura 7.14 representa los valores que resultaron para la deformación de los concretos A y B bajo los esfuerzos de compresión, se puede observar que para el concreto A, el resultado a 300 kGy fue de 0.0515 mm/mm, mientras que en el concreto B fue de 0.04875 mm/mm, lo que indica que el concreto A fue capaz de resistir una mayor deformación bajo los esfuerzos de compresión.

El comportamiento de los concretos A y B, para los esfuerzos de flexión, se ilustra en la figura 7.15, en la cual puede observarse que los valores que presentaron una mejora en la flexibilidad del material, se obtuvieron al irradiar entre 100 y 400 kGy para el concreto A, y entre 200 y 400 kGy para el concreto B. En el caso del concreto A irradiado a 200 kGy, se obtuvo la mayor resistencia a los esfuerzos de flexión 7.78 MPa; mientras que para el concreto B, la mayor resistencia se presentó a los 300 kGy, con un valor de 7.30 MPa, lo cual indicó un desempeño 6.2 % mejor del concreto A. Estos resultados respaldan lo dicho para los esfuerzos de compresión, es decir, que en el caso del concreto A, la irradiación directa propicia la mejora en la interfase entre las fibras y la matriz y aunada a ésta, un incremento en el grado de la reticulación de la matriz polimérica.

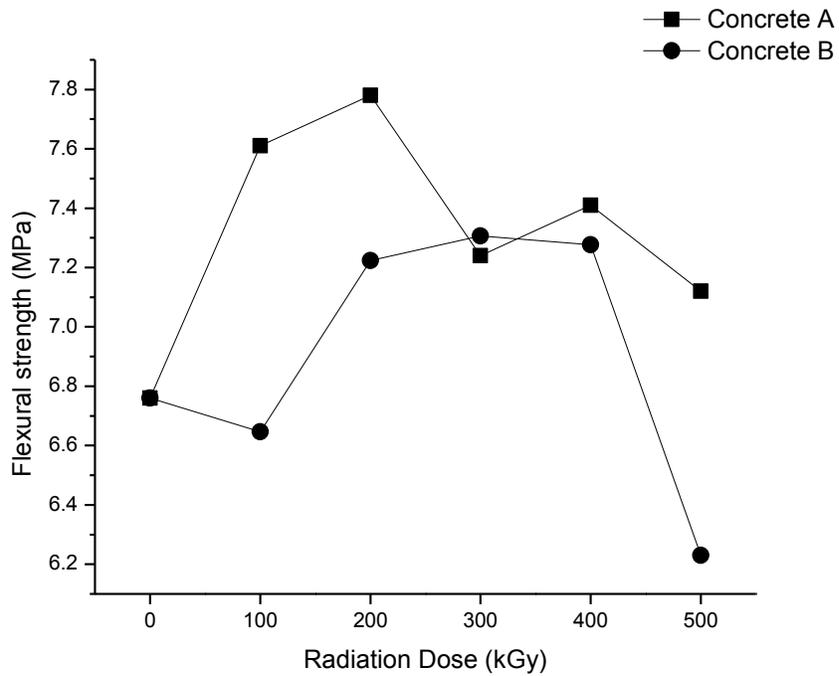


Figura 7.15. Resistencia a la Flexión de los concretos A y B

En lo que respecta a la deformación de los concretos A y B bajo los esfuerzos de flexión, se puede observar en la figura 7.16, que a 300 kGy ambos materiales presentan una deformación menor que el material de control. En el caso del concreto A la deformación fue de 0.017 mm/mm, lo cual indicó una diferencia máxima de 10.53% con respecto al control, lo que se interpreta como una disminución en la resistencia a la flexión del material a esta dosis de irradiación.

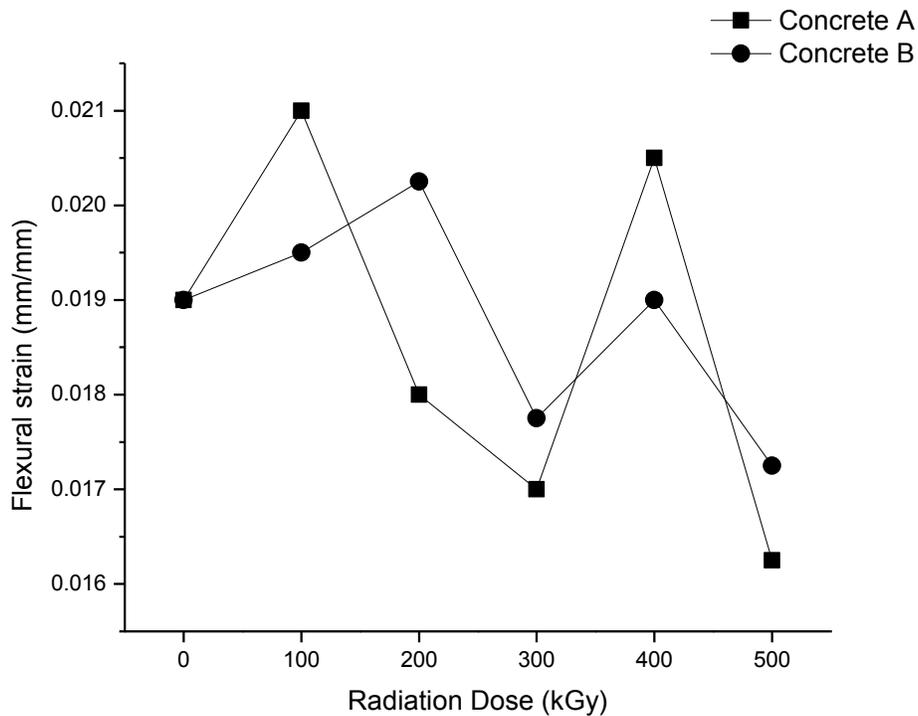


Figura 7.16. Deformación bajo los esfuerzos de flexión de los concretos A y B

En la figura 7.17, se ilustran los resultados obtenidos para el módulo de Young, bajo los esfuerzos de compresión, en el caso del concreto A, para todas las dosis de irradiación, el material resultó con una mayor ductilidad, comparando con el control, y en 300 kGy, se presentó el valor mínimo de 2.908 GPa, el cual fue 5.5% menor que el control. Lo anterior puede ser interpretado como una mejora en la transferencia de tensiones entre los componentes del concreto polimérico. Los resultados afirman nuevamente la idea de que el concreto irradiado directamente presentó una mejor interacción de las fibras textiles con la matriz polimérica y un incremento en el grado de reticulación de la resina poliéster.

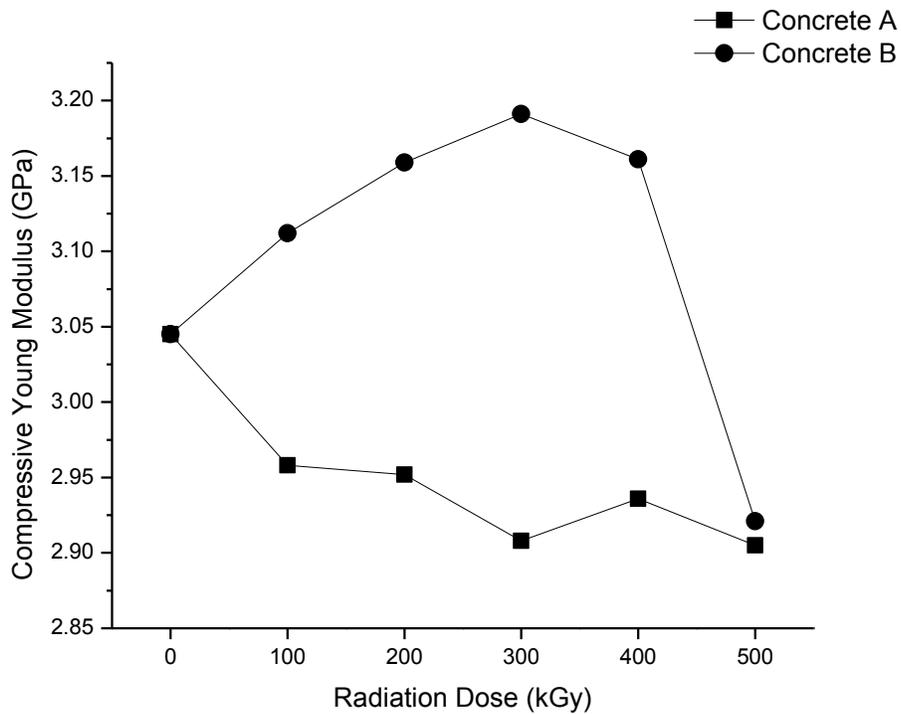


Figura 7.17. Módulo de elasticidad a la compresión de los concretos A y B

Los resultados para el módulo de Young bajo esfuerzos de flexión se muestran en la figura 7.18, puede observarse que para el caso del concreto A, el material presentó una menor flexibilidad al ser irradiado con 300 kGy, por debajo del valor reportado por el concreto de control (332 MPa); pero cuando la irradiación es de 400 kGy, la flexibilidad del concreto A alcanza un valor máximo del módulo de Young de 319 MPa, el cual es 4% menor que el del control.

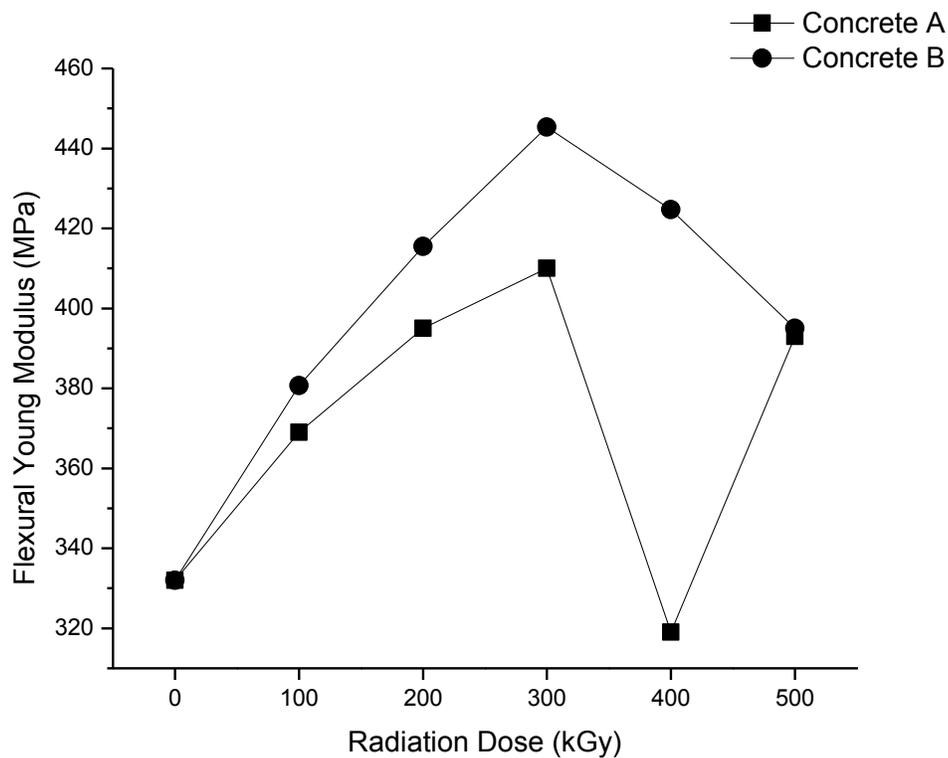


Figura 7.18. Módulo de elasticidad a la flexión de los concretos A y B

7.5. Caracterización de las fibras textiles irradiadas

7.5.1. Caracterización morfológica de las fibras textiles

Los resultados obtenidos de la caracterización morfológica de las fibras textiles, se muestran en la figura 7.19. Pudo observarse el desprendimiento de pequeñas partículas en la superficie de las fibras hasta una dosis de 300 kGy (señalado con flechas); posteriormente, las fibras textiles comenzaron a presentar fisuras superficiales (señaladas por círculos). Las imágenes SEM obtenidas muestran las evidencias de que la radiación ionizante aplicada sobre las fibras textiles, tiene un efecto sobre la morfología superficial de éstas, en dos tipos de efecto, desprendimiento de partículas y fisuras superficiales.

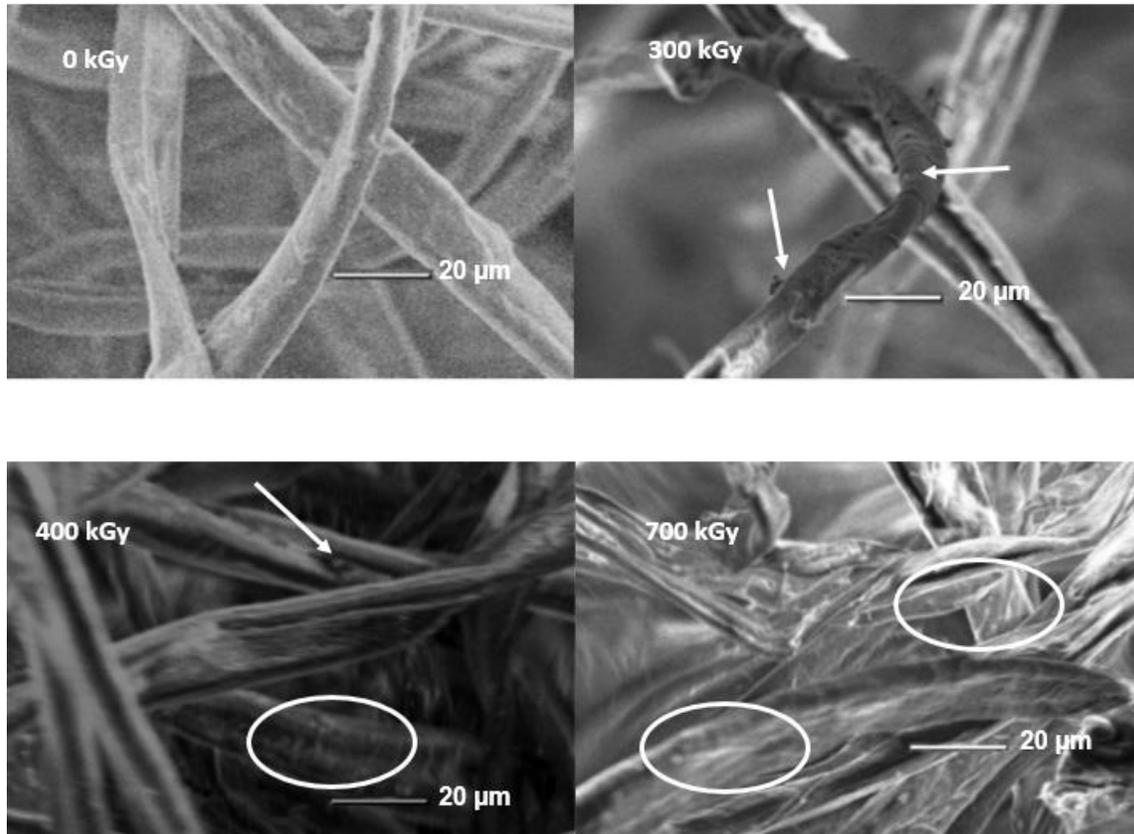


Figura 7.19. Microscopía electrónica de barrido (SEM) de las fibras textiles

7.5.2. Difracción de rayos X

Se irradiaron muestras de fibras textiles con las mismas dosis utilizadas para irradiar el concreto polimérico, y los resultados se muestran en la figura 7.20. El difractograma obtenido mostró tres picos, en $2\theta=14.6^\circ$, $2\theta=16.4^\circ$ y $2\theta=22.5^\circ$; el primero de ellos se asoció al plano (101), para la celulosa cristalizada I, el pico reportado en 16.4° esta del mismo modo asociado al plano (101), pero para la celulosa cristalizada II. El pico localizado en 22.5° se asoció al plano (002) de la celulosa cristalizada I (La cual se asume por los resultados observados, es la predominante en las fibras textiles analizadas).

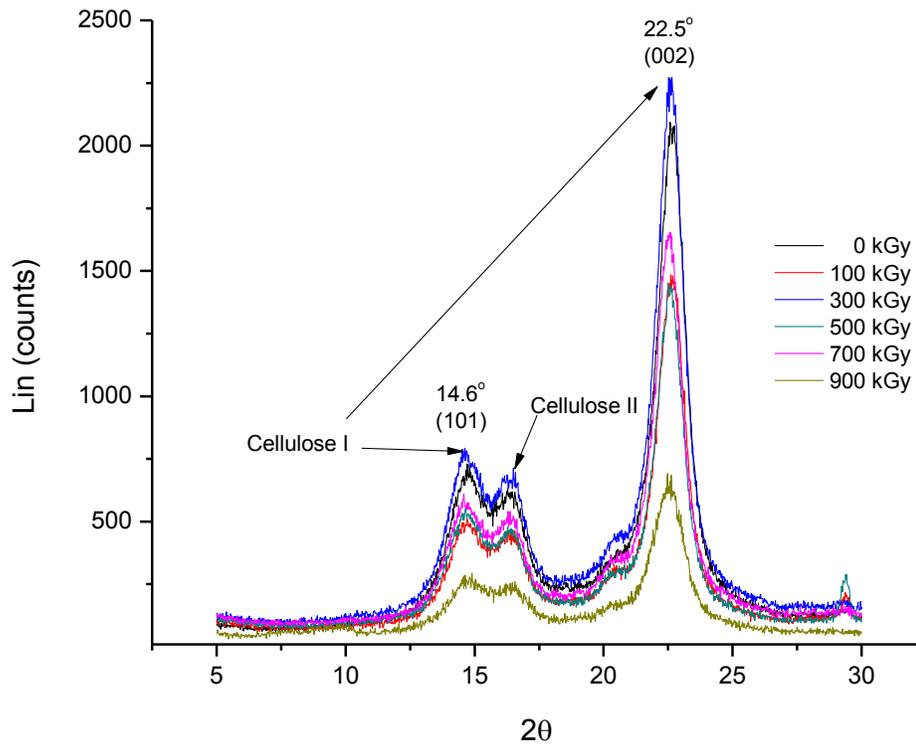


Figura 7.20. Difractograma de Rayos X (DXR) de las fibras textiles.

El índice de cristalinidad I_c (figura 7.21), fue calculado utilizando la ecuación:

$$I_c = 100 \left(\frac{I_M - I_m}{I_M} \right)$$

Donde I_M es la máxima intensidad del pico a $2\theta=22.5^\circ$ y I_m es la intensidad atribuida a la fase amorfa ($2\theta=17-19^\circ$). El índice de cristalinidad para la celulosa sin irradiar, fue de 86%; mientras que el de la celulosa irradiada a 300 kGy, reportó 88%. La cristalinidad para todas las demás dosis de radiación sufre un decremento, en comparación con la celulosa sin irradiar, alcanzando el valor más bajo de 82% para una dosis de 900 kGy.

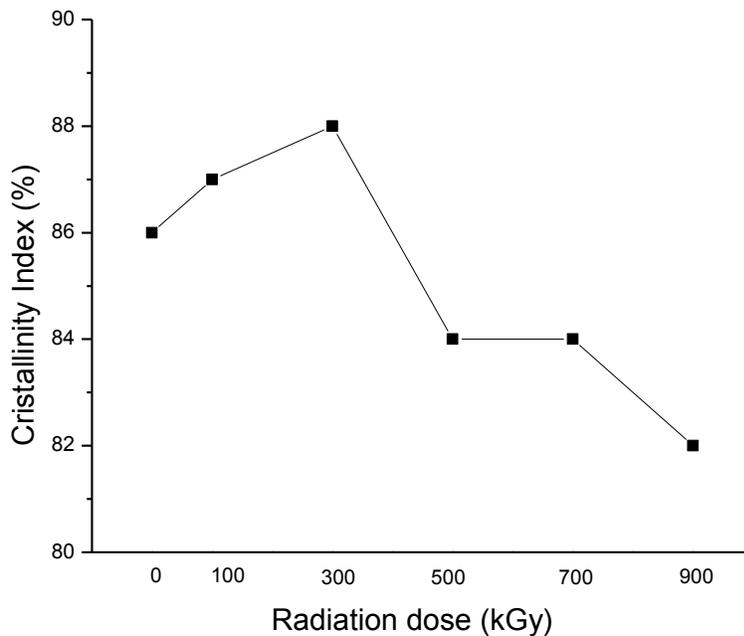


Figura 7.21. Índice de cristalinidad de las fibras textiles

Debido a que el concreto polimérico fue irradiado directamente, los resultados que se obtuvieron para las pruebas mecánicas de compresión (en las que la mayor resistencia se dió a 300 kGy), puede atribuirse por una parte a los cambios en la cristalinidad de las fibras y por la otra a un cambio en el grado de polimerización de la resina poliéster al ser irradiada; aunque no se presume que la mejora, sea una suma de las dos razones antes mencionadas.

7.5.3. Espectrofotometría FT-IR

Los resultados obtenidos en el espectro IR-FT de las fibras textiles, mostraron la coexistencia de dos tipos de celulosa, la celulosa cristalizada I y la celulosa cristalizada II. Se considera que la existencia de la celulosa II en las fibras fue consecuencia del tratamiento que se le da a la mezclilla con una solución de NaOH durante el proceso de descruce. La figura 7.22 muestra el espectro IR-FT para la celulosa sin irradiar y se hace la asignación de los picos correspondientes.

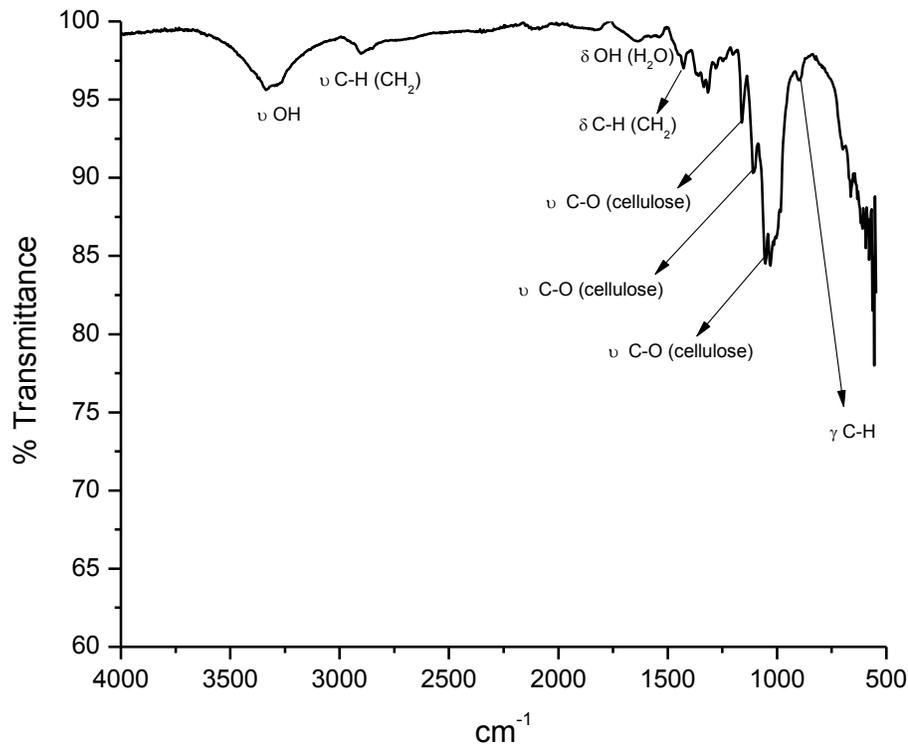


Figura 7.22. Espectro de IR-FT de la celulosa (sin irradiar)

Las figuras 7.23, 7.24 y 7.25 muestran los espectros IR-FT para las fibras textiles irradiadas a diferentes dosis. En la sección del espectro de 1600 a 900 cm^{-1} , pudo observarse que los picos con frecuencias de 1334 , 1312 y 1279 indican la presencia de celulosa cristalizada II (Carrillo-Navarrete, 2002), con lo que se confirma lo observado en el análisis X-Ray Diffraction. La presencia mayoritaria de celulosa I quedó evidenciada por la presencia de los picos de mayor intensidad en las frecuencias 1431 , 1157 y 1114 cm^{-1} , los cuales siempre se mantienen aún y cuando se tenga una mezcla de los dos tipos de celulosa (Liang and Marchessault, 1959). La banda localizada a 1426 cm^{-1} indica una prevalencia de celulosa cristalizada I, debido a que se presentó muy próxima a 1430 cm^{-1} . Otra evidencia de que las fibras textiles están compuestas en su mayoría por celulosa I, es la señal de mínima intensidad en 898 cm^{-1} (dicha señal es característica de la celulosa II). analizando el espectro en la región comprendida entre 3600 y 2800 cm^{-1} , se observa la

existencia de dos picos, uno a 3328 cm^{-1} y otro a 3273 cm^{-1} , los cuales son característicos de la tensión de los grupos -OH presentados por los puentes de hidrógeno intramoleculares presentes en la celulosa II.

Resumiendo, los resultados obtenidos del análisis de IR-FT, mostraron cambios muy interesantes, ya que hasta una dosis de 500 kGy , las fibras textiles conservaron su composición de celulosa I y II, pero después de ser irradiadas a esta dosis, se pudo observar en las frecuencias de 3328 y 3273 como paulatinamente se daba una disminución importante en la señal característica de la celulosa II, del mismo modo como sucedió con la señal característica a 898 cm^{-1} , lo cual se interpretó como una modificación en el tipo de cristalinidad de las fibras, reduciendo su contenido de celulosa II, la cual se supone presentó un desorden en su estructura, ya que entre menos cristalina sea una muestra de fibra, con mayor facilidad podrá acomodar en su estructura moléculas de agua (Fengel and Wegmann, 1989), y esto puede corroborarse al revisar el espectro entre el rango de 1650 a 1630 cm^{-1} , donde el pico correspondiente a los enlaces de deformación del OH en el agua incrementó su intensidad en mayor cantidad para las dosis de 300 y 500 kGy (figura 7.25); y fue a estas dosis, donde el concreto polimérico irradiado reportó las mejores cualidades mecánicas.

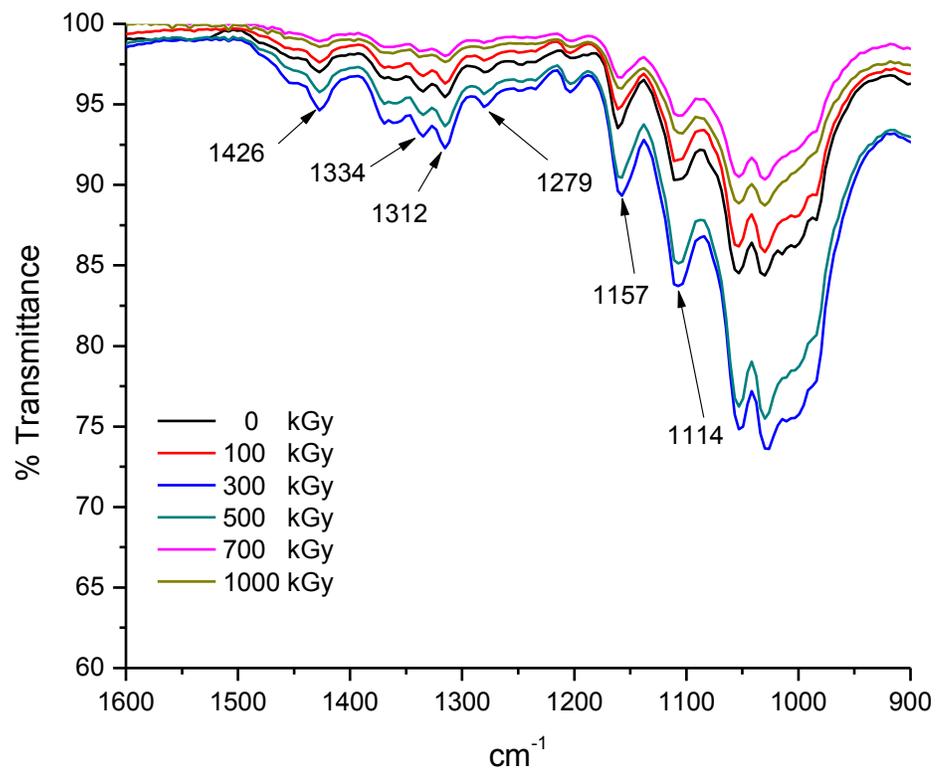


Figura 7.23. Espectro IR-FT de las fibras textiles (1600-900 cm^{-1})

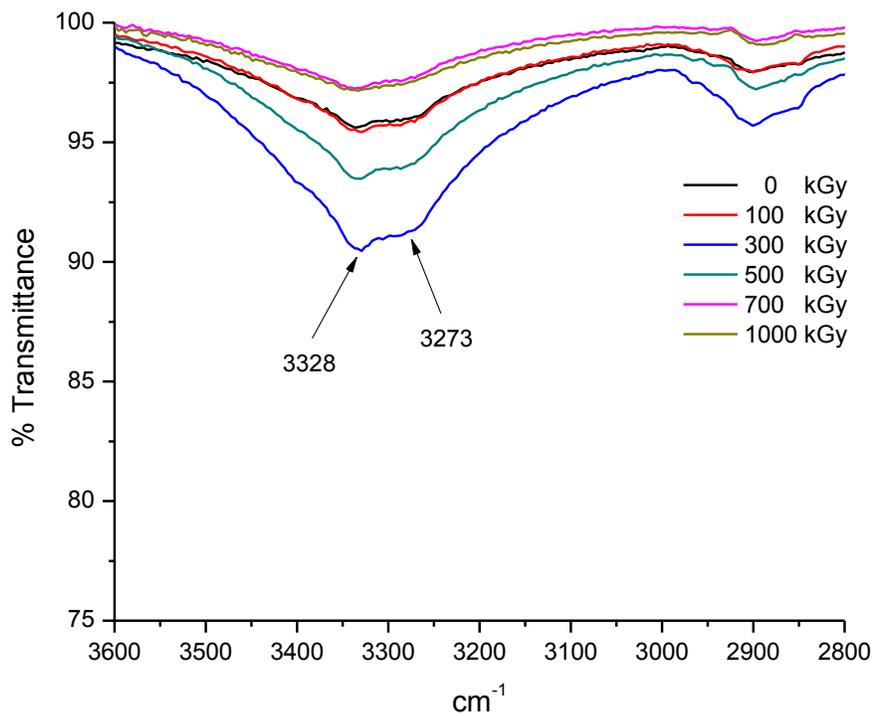


Figura 7.24. Espectro IR-FT de las fibras textiles (3600-2800 cm^{-1})

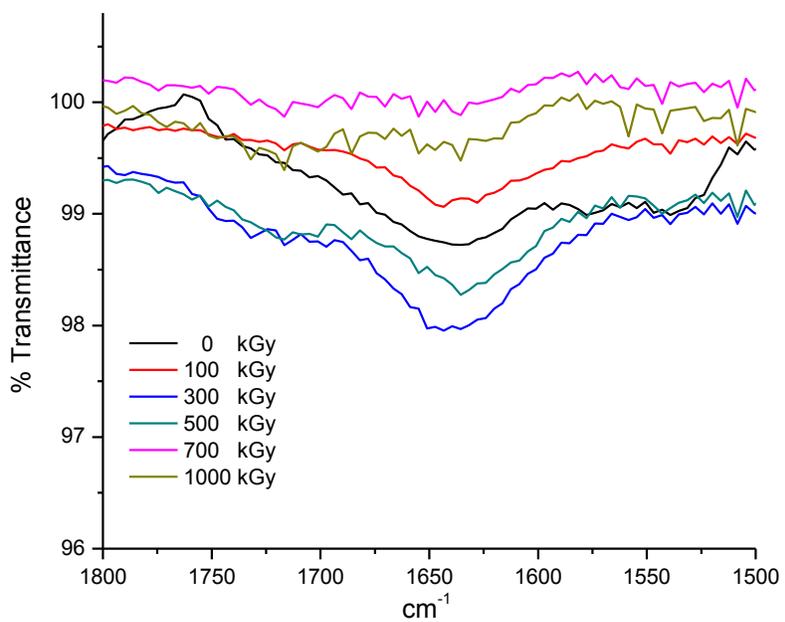


Figura 7.25. Espectro IR-FT de las fibras textiles (1800-1500 cm^{-1})

7.5.4. Calorimetría diferencial de barrido

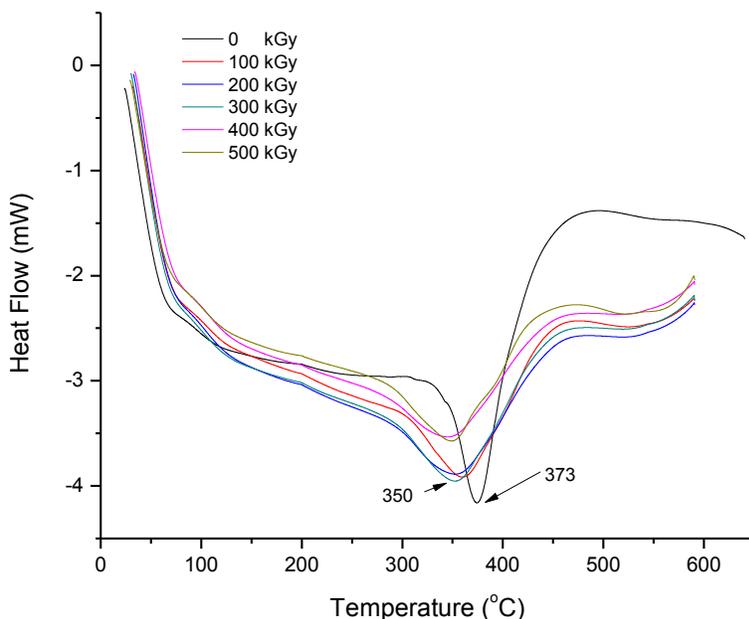


Figura 7.26. Perfiles térmicos de las fibras textiles

En la figura 7.26 se observan los perfiles térmicos para la celulosa sin irradiar e irradiada a diferentes dosis. Se aprecia un pico endotérmico para la celulosa sin irradiar marcado a 373 °C, correspondiente a la descomposición de la macromolécula. Este pico se observó más definido que en el caso de la celulosa irradiada, lo que pudiera atribuirse a una estructura más rígida y organizada del material sin irradiar (León-Fernández, 2014). También puede observarse que la temperatura de cristalización sufre un decremento de aproximadamente 6%, cuando el material es irradiado, lo cual se asume es ocasionado por el cambio en la cristalinidad, al ser degradada de celulosa cristalina a celulosa amorfa.

8. CONCLUSIONES

En la primera parte de esta investigación, se concluyó que el concreto polimérico (sin material de refuerzo) que presentó las mejores cualidades mecánicas de resistencia a los esfuerzos de compresión y de flexión fue el preparado con 30% de resina poliéster/70 % polvo de mármol.

Cuando se adicionaron las fibras textiles (sin irradiar) al concreto polimérico se observó una tendencia a disminuir la resistencia a los esfuerzos de compresión, alcanzando ésta un valor máximo al usar 1.0% wt de fibras textiles.

El concreto polimérico reforzado con las fibras textiles e irradiado directamente (Concreto A) presentó cambios en las propiedades mecánicas, siendo estos más evidentes al aplicar dosis entre 100 y 300 kGy.

Los mejores resultados en cuanto a la resistencia a los esfuerzos de compresión, se presentaron en el concreto A, con una mejora del 40.6%.

El concreto polimérico preparado con fibras textiles irradiadas (Concreto B), presentó una mejora máxima de 26%, comparados contra el control, al irradiar las fibras con 300 kGy.

Para los esfuerzos de flexión, el mejor desempeño en ambos concretos se presentó al irradiar con 200 kGy, el concreto A tuvo una resistencia de 7.78 MPa, mientras que el concreto B obtuvo un valor de 7.30 MPa, lo cual indicó un desempeño 6.2% mejor del concreto A, comparado con el concreto B.

Se asume que estos resultados se presentaron debido a dos tipos de fenómenos que se dieron en forma simultánea en el concreto A; por un lado, la mejora en la interfase entre las fibras y la matriz polimérica, debida a la modificación fisicoquímica de las fibras textiles; y por otro lado, a un fenómeno de incremento en

el grado de la reticulación de la matriz polimérica que generó una estructura capaz de entrapar con mayor efectividad a las fibras textiles.

El análisis morfológico de las fibras textiles irradiadas mostró cambios estructurales en la superficie de las fibras, siendo evidentes a partir de los 300 kGy.

En los resultados de la caracterización de las fibras textiles con la técnica de difracción de rayos X, las fibras mostraron cambios en la cristalinidad, con un cambio máximo a los 300 kGy. Se determinó por este análisis, la existencia de dos tipos de celulosa en las fibras, la celulosa cristalizada I y la celulosa cristalizada 2, siendo esta última, la de menor proporción en las fibras textiles.

Los resultados de la caracterización de las fibras por Espectrofotometría IR-FT también aportó evidencia del contenido de celulosa cristalizada II, y permitió observar que a medida que la dosis de radiación aumentaba entre los 300 y 500 kGy, las señales que se asignan a celulosa II desaparecían, por lo que se asume que su estructura molecular se desordeno, lo cual se piensa, aportó una mejora en la interfase matriz/fibras.

La caracterización de las fibras textiles por DSC, evidenció que la celulosa sin irradiar (la cual presentó un pico muy marcado a 373 °C), presentó una estructura más rígida y organizada; y que al irradiar las fibras, la celulosa es degradada de celulosa cristalina a celulosa amorfa, lo cual contribuye a mejorar la interfase con la matriz polimérica.

9. PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

ARTÍCULO: Recovery of cotton fibers from waste Blue-Jeans and its use in polyester concrete. PUBLICADO

Construction and Building Materials 177 (2018) 409–416

Contents lists available at [ScienceDirect](#)



Construction and Building Materials

journal homepage: www.elsevier.com/locate/conbuildmat





Recovery of cotton fibers from waste Blue-Jeans and its use in polyester concrete

Patricia Peña-Pichardo^a, Gonzalo Martínez-Barrera^{b,*}, Miguel Martínez-López^c, Fernando Ureña-Núñez^d, João Marciano Laredo dos Reis^e

^a Posgrado en Ciencia de Materiales, Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca 50180, Mexico
^b Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Materiales Avanzados (LIDMA), Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México, km.12 de la carretera Toluca-Atzacmulco, San Cayetano 50200, Mexico
^c Department of Construction and Manufacturing Engineering, University of Oviedo, 33204 Gijón, Spain
^d Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Carretera México-Toluca S/N, 52750 La Marquesa Ocoyoacac, Mexico
^e Theoretical and Applied Mechanics Laboratory – LMTA, Mechanical Engineering Post Graduate Program – PGMEC, Universidade Federal Fluminense – UFF, Rua Passo da Pátria, 156 BL E sala 216, Niterói, RJ, Brazil

HIGHLIGHTS

- Polyester concrete with waste cotton fibers from Blue-jeans was elaborated.
- The effects of gamma radiation on compressive and flexural properties were studied.
- The highest mechanical performance is obtained with 1 wt% of waste cotton fibers.
- Irradiation dose of 300 kGy provides the highest mechanical values.
- Mechanical improvements were related with SEM, FT-IR and XRD analyzes.

| | |
|---|---|
| <h4>ARTICLE INFO</h4> <p>Article history: Received 4 October 2017 Received in revised form 11 May 2018 Accepted 14 May 2018</p> <p>Keywords: Recycled textiles Cotton fibers Polyester resin Gamma irradiation Compressive strength Flexural strength</p> | <h4>ABSTRACT</h4> <p>Currently, the consumer tendency causes that the garments are dismissed more quickly, which generate increment of textile waste, such as Blue-Jeans. In this work, polyester concrete with waste cotton fibers was elaborated, and a novel treatment by gamma irradiation was carried out. The results show up to 40% improvement on the compressive strength, as well as 7% on the flexural strength. Additional improvements for irradiated concrete were obtained, when 300 kGy of irradiation dose was applied. Modifications on the surface, chemical structural and crystallinity of irradiated waste cotton fibers, were related with improvements on the mechanical properties of concrete.</p> <p>© 2018 Elsevier Ltd. All rights reserved.</p> |
|---|---|

1. Introduction

Environmental pollution is not a topic for the future, but one that we currently have, which having caused serious damages to our ecosystems, some of them irreversible. Many investigations are increasingly on designing strategies to remedy damages, through waste reduction, and recycling and reuse of materials. Waste production is accelerating, it is estimated that in developed countries each person produces 2 kg of solid waste daily on average, and in the case of Latin-American countries, 1 kg daily [1].

As we known industrial activities provoke environmental impact as those developed by textile industry, which is one of the most developed in the world. Fortunately, great demand on the use of natural textile fibers is happen, mainly due to current fashion, which is governed for the use of comfortable, light and skin-friendly clothing. Blue-Jeans (Denim), are an example of such clothing. One-third of worldwide production of cotton corresponding to cotton fibers, which are used in the textile industry; mainly for manufacturing of Denim garments. Worldwide cotton production

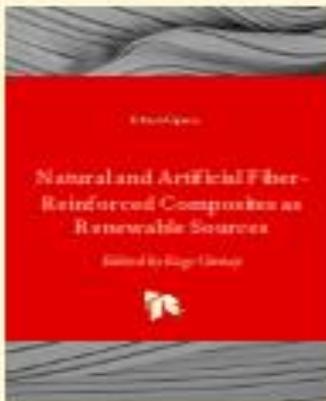
* Corresponding author.
E-mail addresses: gonzomartinez02@yahoo.com.mx (G. Martínez-Barrera), fernando.urena@ninin.gob.mx (F. Ureña-Núñez), jreis@mec.uff.br (J.M.L. dos Reis).

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.137>
0950-0618/© 2018 Elsevier Ltd. All rights reserved.

CAPÍTULO DE LIBRO: Waste and Recycled Textiles as Reinforcements of Building Materials. PUBLICADO

IntechOpen

Book progress report
You did it! Final overview



Natural and Artificial Fiber-Reinforced Composites as Renewable Sources

ACADEMIC EDITOR:

Associate Prof. Ezgi Günay

*Gazi University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department,
Ankara, Turkey*

ISBN: 978-1-78923-061-2

Print ISBN: 978-1-78923-060-4

DOI: 10.5772/intechopen.68740

This book consists of 7 chapters from the following authors:

Chapter 1

Introductory Chapter: Natural Fiber Plastic Composites - A Brief Review
by Ezgi Günay

Chapter 2

Interfacial Modification of Hemp Fiber-Reinforced Composites
*by Yekta Karaduman, Hazrin Odehmir, Nevris Sakhat Karaduman and
Gökçe Odehmir*

INTECHOPEN LIMITED, Registered in England and Wales No. 12084879, The Strand 1511-1512, London WC2R 0LH, London, United Kingdom, SE1 9HQ.
T: +44 (0) 20 3457 4400 | F: +44 (0) 20 3457 4401 | W: www.intechopen.com | E: info@intechopen.com



IntechOpen

Chapter 3

Development of Hemp Fibers: The Key Components of Hemp Plastic Composites

by Chernova Tatyana, Mikhulina Polina, Sabrikov Vadim, Agreva Marina, Ibragimova Nadzoda, Sastkina Olga and Greshkova Tatyana

Chapter 4

Effect of Fiber Waviness on Tensile Properties of Silver-Based Natural Fiber Composites

by Taweruk Pyatuchanamon, Baocheng Ren and Keichi Goto

Chapter 5

Mechanical and Fracture Surface Analysis of Higher Viscous Epoxy/Modified Carbon Nanotube Nanocomposites Subjected to Flexural Loading

by Aidi Ali, Rizky M. Sohaeni and Ahmad H. Muhammad Ihsan

Chapter 6

Waste and Recycled Textiles as Reinforcements of Building Materials

by Patricia Peña Pichardo, Gonzalo Martínez-Barrera, Miguel Martínez-López, Fernando Ureña-Núñez and Lilliana L. Ávila-Córdoba

Chapter 7

Natural Fibers for Sustainable Bio-Composites

by Tri-Dung Ngo

Our authors are based internationally. the following countries are represented by participating researchers

- Mexico
- Turkey
- Russia
- Japan



Waste and Recycled Textiles as Reinforcements of Building Materials

Patricia Peña Pichardo, Gonzalo Martínez-Barrera,
Miguel Martínez-López,
Fernando Ureña-Núñez and Liliana I. Ávila-Córdoba

Additional information is available at the end of the chapter

<http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.70620>

Abstract

Currently, the use of composite materials in the construction areas has had a great impact on the society; mainly, those related with sustainability and environment aspects. Daily proposals aimed at overcoming the properties of traditional materials that arise, which include emergent materials either from waste or recycled products. One of them is related to the textile materials, which include fibers such as wool, hemp, linen, and cotton. In the past decade, special attention has been focused on the used clothes, which represent a source of raw materials environmentally responsible and economically profitable. Textile materials are discarded daily around the world, representing approximately 1.5% of the generated waste. Blue jeans are the most used clothing in the world, and they are elaborated by one of the most commonly used natural textile fibers—cotton. Textile materials have been reused in different applications, for example, in the production of poor-quality wires, crushed to manufacture noise and temperature insulation materials, and as fillers or reinforcements of concrete. In this chapter, different topics are described that include: (a) environmental impact of textile waste—a result of massive consumption of clothing, (b) recycling and reuse of textile waste, and (c) waste and recycled textile materials used as building materials.

Keywords: recycling, waste, textiles, cotton, cellulose, composites, polymer concrete, gamma irradiation, mechanical properties

1. Introduction

As a consequence of the technology boom and global population growth, the environment is being seriously damaged by different types of waste. Large amounts of wastewater, polluting gases, and solid waste are being disposed of worldwide, which have degraded the ecosystem

10. Referencias

Alexander, Gil. (2012). Resinas de poliéster. Guía de manejo. Manual EAFIT

BID-OPS. (1997). Diagnóstico de la situación del manejo de Residuos Sólidos Municipales en América Latina y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo. Washington, D.C.

Bledzki, A., Gassan, J. (1999). Composites reinforced with cellulose based fibers. Progressing in Polymes Science. Volume 24. pp 221-274

Briga-Sá, A., Nascimento, D., Teixeira, N., Pinto, L., Caldeira, F., Varum, H., Paiva, A. (2013). Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution. Construction and Building Materials 38. pp 155-160

Canaive-ITAM (2008). La industria del vestido en México. Diagnóstico, prospectiva y estrategia. Centro de estudios de competitividad.

Carrillo-Navarrete, F. (2002). Caracterización estructural de fibras de Lyocell y su comportamiento frente a procesos de degradación. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña.

DOF (2004). NOM-083-SEMARNAT-2003. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

EcuRed. Conocimiento con todos y para todos. Mezclilla. Consultado en línea en: <https://www.ecured.cu/mezclilla>

El Economista. Diario Virtual. (2013). México se suma a la moda verde de la mano de Levi's. Consultado en línea en: eleconomista.com.mx/industrias/2013/03/15/mexico-se-suma-moda-verde-mano-levi-s

Fengel D., Wegener G. (1989). Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions, Walter de Gruyter, New York, NY, U.S.A.

Gupta M., Srivastava R. (2014). Tensile and flexural properties of sisal fibre reinforced epoxy composite: A comparison between unidirectional and mat form of fibres. International Conference on Advances in Manufacturing and Materials Engineering. Procedia Materials Science 5. pp 2434 – 2439

Hoorweg, D., Bhad-TaTa, P. (2012). What a waste. A global Review of solid waste Management. Urban Development Series. Knowledge papers.

Hossain, K., Marine, S., Raihan, F., Redowan, M., Miah, M. (2014). Textile effluents changes physiochemical parameters of water and soil: threat for agriculture. Afr. J. Agron. Vol. 2. pp 219-223.

Jayamol, G., Sreekala, M., Thomas, S. (2001). A review on interface Modification and Characterization of Natural Fiber Reinforced Plastic Composites. Polymer Engineering and Science. Vol 41. No 9. pp 1471-1485.

Kalliala, E., Pertti, N. (1999). Environmental profile of cotton and polyester-cotton fabrics. Autex. Research Journal. 1:8-20.

Kant R. (2012). Textile dyeing Industry an environmental hazard. Natural Science. 4: 22-26.

León-Fernández, V., Rieumont-Briones, J., Bordallo-López, E., Gastón-Peña, C., Chanfón-Curbelo, J. (2014). Caracterización térmica, estructural y morfología de un copolímero base celulosa/ Thermal, tructural and morphologic characterization of a cellulose-based copolymer. Revista CENIC Ciencias Químicas. No.1. Volumen 45

LeviStrauss&Co. (2015). The Life Cycle of a Jean - Understanding the environmental impact of a pair of Levi's 501 jeans. Retrieved May 11, 2015 <http://levistrauss.com/wp-content/uploads/2015/03/Full-LCA-Results-DeckFINAL.pdf>

Liang, C., Marchessault, R. (1959). Infrared Spectra of Crystalline Polysaccharides II. Native Celluloses in the Region from 640 to 1700 cm⁻¹. Journal of Polymer Science. Vol 39.pp 269-278.

Malhotra, V. (2000). Role of supplementary Cementing Materials in Reducing Greenhouse Gas Emissions. Gjorv, O., Sakai, K., Editors. Concrete Technology for sustainable Development in the 21st Century. E&FN Spon, London. pp 226-235

Martínez-Barrera, G., Camacho-López, M., Hernández-López, S. Solis-Casados, D., Viguera, E. (2015). Capítulo 8. Materiales de reciclaje y su uso en el mejoramiento del concreto. Temas selectos en ciencia de materiales. Ed. Notabilis Scientia. Volumen 1.

Martínez-Barrera, G., Giraldo, L., López, B., Brostow, W. (2009). Effects of γ radiation on fiber-reinforced polymer concrete. Polymer Composites. Vol. 29. No. 11. pp 1244-1251

Martínez-Barrera, G., Viguera-Santiago, E., Martínez-López, M., Ribeiro, M., Ferreira, A., Brostow, W. (2013). Luffa fibers and gamma radiation as improvement tools of polymer concrete. Construction and Building Materials. Vol. 47. pp 86-91

Martínez- Barrera, G., Brostow, W. (2008). Compressive Strength of Gamma Irradiated Polymer Concrete. *Polymer Composites*. Vol 29. No. 11. pp 1211-1217

Martínez-López, M. (2016). Modificación fisicoquímica mediante radiación gamma de los materiales de reciclaje provenientes de envases tetrapak y su reuso en concreto polimérico. Tesis doctoral. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Química.

Martínez-López, M. (2012). Elaboración y caracterización de concreto polimérico: efecto del contenido de fibra de Luffa y de la radiación gamma. Tesis de maestría. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Química.

Maurya, H., Gupta, M., Srivastava, R., Singh, H. (2015). Study on the mechanical properties of epoxy composite using short sisal fiber. *Materials Today: Proceedings* 2. pp 1347-1355. DOI: 10.1016/j.matpr.2015.07.053

Misonon, I., Islam, M., Epaarachchi, J., Lau, K. (2014). Potentiality of utilizing natural textile materials for engineering composites applications. *Review. Materials and Design* 59. pp 359-368.

Morales, R., Duncan, E., Gracia, S., Maartínez, A., Barrón, J., Cepeda, D. (2013). Uso de materiales compuestos reciclados de fibra de vidrio-poliéster como cargas en concreto polimérico. *Ingeniería*. Vol. 16. No. 61. pp 48-53.

Norma Europea EN-196-1.(1996). Métodos de ensayo de cementos. Determinación de resistencias mecánicas.

Núñez, Jenny (2011). Estandarización de los procesos previos a la tintura de algodón 100% con colorantes reactivos. Tesis. Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas. Universidad Técnica del Norte (UTN).

OCDE-FAO. (2015). Perspectivas Agrícolas. Resúmenes de los productos básicos.

Pickering, K., Aruan Efendy, M., Le, T. (2016). A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites: Part A*. 83. pp 98-112.

Rajput, D., Bhagade, S., Ralegaonkar, R., Sachin, A. (2012). Reuse of cotton and recycle paper mill waste as building material. *Construction and Building Materials* 34. pp 470-475.

Ramis, X. (1994). Estudio de la eficiencia de sistemas químicos del curado de resinas de poliéster insaturado. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña.

Reporte CESOP (2012). Residuos sólidos urbanos en México. Número 51. Centro de estudios sociales y de opinión pública. Cámara de diputados. LXI Legislatura.

Rodríguez, E., Lupín, B., Lacaze, V., Gonzalez, J. (2011). La producción sustentable de fibras Textiles. ¿Una alternativa viable para Argentina?. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Economicas y Sociales.

Romero, M. (2003). Tecnología de irradiación gamma en la obtención de materiales compuestos. CNEA. No. 11/12. pp 15-23

SEMARNAT (2014). El medio ambiente en México 2013-2014. Residuos sólidos Urbanos.

Consultado en línea en:

apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/07_residuos/7_1_1.html

SEMARNAT (2010). Compendio de estadísticas ambientales 2010 México.

Consultado en línea en: www.semarnat.gob

Woolridge, A., Ward, G., Phillips, P., Gandy, S. (2006). Life cycle assessment for reuse/recycling of donated waste textiles compared to use of virgin material: An UK energy saving perspective. *Resources, Conservation and Recycling*. 2006.46. pp 94-103.

Takács, E., Wojnárovits, L., Földváry, P., Hargittai, P., Borsa, J., Sajó, I. (2000). Effect of combined gamma-irradiation and alkali treatment on cotton-cellulose. *Radiation Physics and Chemistry* 57. pp 399-403