

---

## ÍNDICE

ÍNDICE.....	i
ÍNDICE FIGURAS .....	iii
ÍNDICE TABLAS .....	iv
INTRODUCCIÓN.....	1
HIPÓTESIS .....	3
OBJETIVO .....	4
Objetivos particulares .....	4
CAPÍTULO I .....	5
Antecedentes.....	5
CAPÍTULO 2 .....	8
Aspectos teóricos .....	8
2.1 Modificadores de superficie .....	8
2.1.1 Polímeros funcionalizados .....	8
2.1.2 Copolimerización por injerto.....	9
2.2 Agentes de acoplamiento.....	9
2.2.1 Silanos .....	10
2.2.1.1 Estructura química del silano .....	11
2.2.2 Titanatos .....	16
2.2.3 Zirconatos .....	17
2.3 Tratamiento químico superficial.....	18
2.3.1 Oxidación de carbonos .....	19
2.3.2 Tratamientos superficiales en las fibras de carbón.....	19

---

2.4 Adsorción .....	20
2.4.1 Tipos de adsorción.....	20
2.4.2 Métodos experimentales.....	22
2.5 La naturaleza de las isothermas de adsorción.....	23
2.5.1 La isoterma de adsorción.....	23
2.6 Espectroscopia de infrarrojo con transformada de fourier (FTIR).....	34
2.6.1 Reflectancia total atenuada (ATR) .....	36
2.6.2 Reflectancia difusa (DR) .....	37
CAPÍTULO 3 .....	39
Parte experimental .....	39
3.1 Materiales .....	39
3.2 Tratamientos superficiales.....	39
3.2.1 Tratamiento químico superficial.....	39
3.2.2 Tratamiento con silano .....	40
3.3 Estudio de la adsorción.....	40
3.4 Espectroscopia de infrarrojo con transformadas de fourier (FTIR). .....	41
3.4.1 Cálculo de las áreas .....	42
3.5 Construcción de las isothermas de adsorción.....	43
CAPÍTULO 4 .....	45
Resultados y discusión .....	45
CAPÍTULO 5 .....	60
Conclusión.....	60
BIBLIOGRAFÍA .....	61

---

## ÍNDICE FIGURAS

Fig. 01 El polietileno modificado con anhídrido maleico.	8
Fig. 02 Estructura idealizada de una interfase modificada con silano	10
Fig. 03 Reacciones del grupo silicofuncional.	12
Fig. 04 Enlace en la superficie del sustrato	14
Fig. 05 Condensación de grupo Silanol	16
Fig. 06 Esquema de reacción del titanato.	17
Fig. 07 Métodos para el tratamiento superficial de fibras de carbón.	18
Fig. 08 Curva de adsorción Langmuir (Tipo 1)	25
Fig. 09 Curva Tipo BET (Tipo 2)	26
Fig. 11 Diagrama en bloque del FTIR	35
Fig. 12 Reflectancia atenuada	37
Fig. 13 Área de banda con dos puntos de línea base	43
Fig. 14 Isoterma de adsorción para fibra de carbón	45
Fig. 15 Isoterma de adsorción para fibra de vidrio	46
Fig. 16 Adsorción en equilibrio para fibra de carbón Modelo Langmuir I	49
Fig. 17 Adsorción en equilibrio para fibra de vidrio Modelo Langmuir I	49
Fig. 18 Adsorción en equilibrio para fibra de carbón Modelo Langmuir II	50
Fig. 19 Adsorción en equilibrio para fibra de vidrio Modelo Langmuir II	51
Fig. 20 Adsorción en equilibrio para fibra de carbón Modelo Freundlich	52
Fig. 21 Adsorción en equilibrio para fibra de vidrio Modelo Freundlich	53
Fig. 22 Adsorción en equilibrio para fibra de carbón. Método Redlich-Peterson	54
Fig. 23 Adsorción en equilibrio para fibra de vidrio. Modelo Redlich-Peterson	55

---

Fig. 24 Adsorción en equilibrio para fibra de carbón Modelo Toth	56
Fig. 25 Adsorción en equilibrio para fibra de vidrio Modelo Toth.	57
Fig. 26 Adsorción en equilibrio para fibra de carbón Modelo Jossen et al.	58
Fig. 27 Adsorción en equilibrio para fibra de vidrio Modelo Jossen et al.	59

---

## INTRODUCCIÓN

Los materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras de ingeniería (carbón, kevlar, vidrio, etc.) han sido utilizados tradicionalmente en la industria aeronáutica y aeroespacial. sin embargo ofrecen toda una gama de propiedades físicas y químicas que han permitido captar la atención de industrias diversas como: la de producción, exploración y distribución de petróleo, de construcción de estructuras marinas como civiles e industria automotriz, entre otras.

Los materiales compuestos poliméricos tienen principalmente dos componentes, una matriz polimérica (fase continua) y una inclusión en forma de partícula ó bien de fibra (fase dispersa). El principal criterio que se utiliza para evaluar la bondad y/o el potencial de un material compuesto es, sin duda alguna, sus propiedades mecánicas. Estas dependen de las propiedades de cada uno de los componentes del material y de las propiedades de la región que se forma en las inmediaciones de la matriz y la inclusión, conocida como la interfase.

La incorporación de agentes de acoplamiento modifica las propiedades de la interfase fibra-matriz, y ello se refleja, en un cambio en las propiedades mecánicas, reológicas y fisicoquímicas del material compuesto. En la actualidad, existe una gran variedad de agentes de acoplamiento disponibles comercialmente, silanos, titanatos, fosfatos, etc. La elección de utilizar un agente de acoplamiento, depende en gran medida, de las propiedades de los constituyentes del material compuesto. Los silanos son, sin duda alguna, los que se han empleado con mayor éxito en la fabricación de materiales compuestos reforzados con fibras tradicionales. como son: carbón, vidrio, kevlar, etc., y con: fibras no convencionales como las fibras celulósicas.

---

Estudios reportados en la literatura (Miller et al, 1984, Ishida,1976) indican que la cantidad de agente de acoplamiento depositado sobre el sustrato depende en gran parte de las condiciones experimentales bajo las cuales se hace la modificación. es decir del solvente utilizado, tiempo de hidrólisis, pH de la solución, concentración del agente de acoplamiento y condiciones de curado y más importante aún, que las propiedades mecánicas de los materiales compuestos dependen de la cantidad de agente de acoplamiento depositado sobre las fibras. (Herrera et al, 1997, Demjén, Z. y B. Pukánszky, 1997 y Gulyás et al, 2000)

El presente trabajo se realizó en la Unidad de Materiales del Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY) con el objetivo primordial de estudiar como se deposita un agente de acoplamiento sobre las fibras de carbón y fibras de vidrio y evaluar cuál de los modelos de adsorción reportados en la literatura describe con mayor exactitud los datos experimentales.