

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA



CARACTERIZACION DE POLIETILENO
REFORZADO CON FIBRA DE NYLON

CARLOS ANDRES ALVAREZ GAYOSSO
INGENIERO QUIMICO

1 9 7 9



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS 1979

NO. H.T. 16

FECHA _____

PAGE _____



PRESIDENTE, PROF. JULIO TERAN ZAVALAETA
VOCAL, PROF. HELIO FLORES RAMIREZ
SECRETARIO, PROF. RICARDO VERA GRAZIANO
1er. SUPLENTE, PROF. FERNANDO ITURBE HERMANN
2do. SUPLENTE, PROF. ROLANDO BARRON RUIZ

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA: CENTRO DE INVESTIGACION
DE MATERIALES. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO.

SUSTENTANTE, CARLOS ANDRES ALVAREZ GAYOSSO
ASESOR, DR. RICARDO VERA GRAZIANO
SUPERVISOR, ING. AMANDO PADILLA RAMIREZ

I N D I C E

INTRODUCCION	1
ANTECEDENTES:	
a) GENERALIDADES	
COMPONENTES DE LOS MATERIALES COMPUESTOS	3
IMPORTANCIA DE LOS PLASTICOS REFORZADOS	4
FACTORES QUE DETERMINAN LA EFICIENCIA DEL MATERIAL REFORZADO	6
b) CONSIDERACIONES TEORICAS:	
ADHESION	7
PROPIEDADES MECANICAS	9
TENSION SUPERFICIAL CRITICA	12
DENSIDAD	15
PARTE EXPERIMENTAL:	
a) MATERIALES	16
b) PREPARACION DE MUESTRAS	17
c) PREPARACION DE PROBETAS	21
d) PRUEBAS MECANICAS	21
e) PRUEBAS FISICAS:	
TEMPERATURA DE FUSION	23
TENSION SUPERFICIAL CRITICA	23
DENSIDAD	27
RESULTADOS Y DISCUSION:	
a) RESULTADOS PRELIMINARES	28
b) SELECCION DEL DIAMETRO	37
c) TIEMPO DE MOLDEO	47
CONCLUSIONES	53
LISTA DE REFERENCIAS	57

I N D I C E D E T A B L A S

TABLA		PAGINA
1	ESPECIFICACION DE MATERIALES	16
2	ESPECIFICACION DE MATERIALES	17
3	CARACTERISTICAS MECANICAS DE POLIETILENO CON MONOFILAMENTO DE NYLON	32
4	CARACTERISTICAS MECANICAS DE POLIETILENO CON FIBRA DE NYLON	32
5	PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE POLIE TILENO Y FIBRA DE NYLON	38
6	CARACTERISTICAS MECANICAS DE POLIETILENO REFORZADO CON FIBRA DE NYLON	39
7	AREA DE CONTACTO DE FIBRAS DE NYLON	42
8	AREA APARENTE Y POR GRAMO DE FIBRA DE NYLON	42
9	ESFUERZO DE CEDENCIA DE POLIETILENO RE- FORZADO CON FIBRA DE NYLON Y DE POLIETI LENO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO	44
10	RESISTENCIA A LA TRACCION DE POLIETILENO REFORZADO Y SIN REFORZAR	49
11	CARACTERISTICAS MECANICAS DE POLIETILENO REFORZADO CON FIBRA DE NYLON DE 630 DENIERS VARIANDO EL TIEMPO DE MOLDEO	50

I N D I C E D E F I G U R A S

FIGURA		PAGINA
1	GRAFICA ALARGAMIENTO-CARGA DE POLIETILENO REFORZADO	13
2	AREA TRANSVERSAL DE PROBETA	14
3	PRESENTACION DE MATERIALES EN PELLETS	18
4	PRESENTACION DE POLIETILENO EN PLACA Y DE NYLON EN MONOFILAMENTO Y FIBRA	18
5	PRENSA HIDRAULICA	20
6	MOLDES Y SUAJE	20
7	DIMENSIONES DE SUAJE	22
8	MAQUINA DE PRUEBAS INSTRON	24
9	TERMOGRAMA DE NYLON 6	25
10	MEDICION DE ANGULOS DE CONTACTO	26
11	MATERIAL COMPUESTO DE POLIETILENO Y NYLON EN PELLETS	29
12	DETALLE DEL MATERIAL COMPUESTO A BASE DE POLIETILENO Y NYLON EN PELLETS	29
13	MATERIAL COMPUESTO DE POLIETILENO Y RAYON EN PELLETS	30

FIGURA		PAGINA
14	DETALLE DEL MATERIAL COMPUESTO A BASE DE POLIETILENO Y RAYON EN PELLETS	30
15	MATERIAL COMPUESTO DE PLACA DE POLIETILE NO Y MONOFILAMENTO DE NYLON	33
16	PROBETA DE POLIETILENO-MONOFILAMENTO	33
17	GRAFICA COSENO DEL ANGULO DE CONTACTO- TENSION SUPERFICIAL	34
18	MATERIAL COMPUESTO DE PLACA DE POLIETILE NO Y FIBRA DE NYLON	36
19	GRAFICA MER-PORCENTAJE EN PESO DE FIBRA DE NYLON	40
20	GRAFICA MER-AREA APARENTE DE CONTACTO	43
21	CURVA ESFUERZO-DEFORMACION DE POLIETILE- NO SIN REFORZAR	45
22	CURVA ESFUERZO-DEFORMACION DE POLIETILE- NO SIN REFORZAR (REALES)	46
23	CURVAS ESFUERZO-DEFORMACION DE POLIETILE NO REFORZADO Y SIN REFORZAR	48
24	GRAFICA MER-TIEMPO DE MOLDEO PARA FIBRA DE NYLON DE 630 DENIERS	51

I N T R O D U C C I O N

En los últimos años se ha dado mucho interés y difundido de tal manera el uso de los polímeros orgánicos sintéticos que no sólo han dado origen a infinidad de otros tipos de materiales, sino que han desempeñado un papel importante en nuestra manera de vivir. Entre ellos, están los -- plásticos reforzados que se desarrollan para elaborar productos de bajo precio con características superiores a las de materiales convencionales, empleando la combinación de resina polimérica como matriz y fibra polimérica o de vidrio como refuerzo. En el presente trabajo que se me ha asignado como tesis profesional, se estudia el grado de adhesión del polietileno sobre fibra de nylon analizando las propiedades mecánicas del polietileno reforzado. Se ha usado este método teniendo en cuenta que la eficiencia de la transferencia de esfuerzos de la matriz hacia el refuerzo, en un plástico reforzado sometido a cargas, depende del grado de adhesión provocado por el contacto íntimo entre las dos fases en el momento de hacerse la unión.

En este trabajo se desarrolla una técnica para preparar polietileno reforzado con fibra de nylon, así mismo, se investigan los efectos del diámetro de la fibra, su porcentaje y arreglo y el efecto del tiempo de moldeo en

la adhesión. El grado de adhesión es determinado indirectamente, mediante la observación de resultados alcanzados en las características mecánicas del nuevo producto.

Debido a que en la literatura sobre plásticos reforzados no se informa el comportamiento ni propiedades - mecánicas de este material con las cuales comparar las experiencias obtenidas en este trabajo, únicamente se expondran los métodos de obtención, tipo de pruebas y resultados logrados. Resultados que se comparan con muestras de polietileno sin reforzar.

A N T E C E D E N T E S

a) GENERALIDADES

COMPONENTES DE LOS MATERIALES COMPUESTOS. Básicamente un material compuesto está formado por una resina o matriz y un refuerzo. Las resinas poliméricas empleadas - pueden ser termofijas o termoplásticas. El refuerzo generalmente se emplea en forma de fibra o de granulados.

La resina termoestable, también llamada termofija, es aquella que calentada una primera vez, endurece definitivamente al enfriarse y no puede volverse a remodelar por efecto del calor, descomponiéndose antes de fundir por existir reacción química; por el contrario, la resina termoplástica sí puede remodelarse al sometersele nuevamente a - la acción del calor una vez que ha enfriado sin que halla - reacción química, (1).

Los refuerzos pueden ser de tipo orgánico o inorgánico y tienen como finalidad mejorar las propiedades físicas y mecánicas de las resinas.

Las fibras pueden ser naturales o sintéticas. Las naturales tales como la seda, la lana, el yute, el algodón o el henequen, etc., y tienen en la actualidad uso limi

tado. Por otra parte, la fibra sintética: rayón, poliéster, nylon, etc., se les requiere principalmente en la industria textil y hulera. Por lo que se refiere a la fibra inorgánica, se conoce el vidrio, asbesto, boro, grafito y algunas metálicas. El boro y el grafito son solicitados en la aeronáutica por su resistencia a los grandes esfuerzos producidos por la velocidad; el vidrio, como las metálicas, por su resistencia a la compresión, tensión, ruptura e impacto, -- (2, 3).

Los refuerzos granulares son generalmente de tipo inorgánico como el caolín, el carbonato de calcio, talco, perlita, microesferas de vidrio que dependiendo de su diámetro y resistencia mecánica actúan como refuerzo o carga. En síntesis, estos refuerzos mejoran las propiedades mecánicas como la rigidez, resistencia a la abrasión y en algunos casos se requieren para reducir el peso específico de el material compuesto o bien como carga para abatir costos de manufactura, (2).

IMPORTANCIA DE LOS PLASTICOS REFORZADOS. La facilidad de fabricación, reparación y propiedades hacen -- que los plásticos reforzados sean sustitutos, en algunos casos, de la madera, vidrio o hierro, o bien, para bajar costos de mantenimiento. Por esto, se ha dejado en mucho la -- aplicación de la resina termofija para emplear la termoplástica en forma de lámina, además de que ésta es más barata. Por ejemplo, en la industria de la construcción es empleado por sus propiedades estructurales en forma de paneles, armaduras para techos, marcos de ventanas y puertas, aislantes térmicos y acústicos. En el campo de los servicios se usa --

en el suministro de agua, desagües pluviales, depósitos para agua, bañeras y lavabos, (4).

Por consiguiente, existe un gran número de ramas donde se necesita el plástico reforzado y como todo material, tiene ventajas y desventajas. Entre las primeras se encuentran: a) alta resistencia al impacto y a la humedad por su estabilidad dimensional, b) capacidad de orientar los diferentes esfuerzos en cualquier dirección mediante el arreglo del refuerzo, c) pigmentación durante la elaboración evitando el uso de pintura y así bajar costos de mantenimiento, d) buenos aislantes eléctricos, no sufren corrosión galvánica, e) ofrecen resistencia al ataque microbiológico, como al efecto del intemperismo, f) el grado de cristalinidad no afecta las propiedades mecánicas del polietileno de baja densidad, no así en el polietileno de alta densidad; atribuyéndose esta diferencia, a cambios en su morfología cristalina durante la deformación que sufre al ser sometido a cargas de tracción y durante las cuales, las reacciones al esfuerzo no resultan uniformes a lo ancho y largo de la sección donde están aplicadas las cargas; ocasionando que los esfuerzos escaseen en algunos puntos y se concentren en otros, en donde finalmente se produce la ruptura, (5, 6).

Dentro de las desventajas se pueden citar: a) no es recomendable almacenar líquidos y gases inflamables, así como disolventes orgánicos y ácidos oxidantes fuertes, b) acabado imperfecto en algunos métodos de moldeo que afectan su resistencia química y mecánica y c) contaminan el medio ambiente al no degradarse por acción biológica, (7).

FACTORES QUE DETERMINAN LA EFICIENCIA DE EL MATERIAL REFORZADO. En general, los refuerzos son seleccionados de acuerdo a la función que se desea desempeñen, teniendo siempre presente que debe existir una buena adhesión entre la matriz y el refuerzo porque de lo contrario, se obtendrá un producto de baja calidad debido a que no existe una interfase continua entre las moléculas de ambos componentes. La adhesión determinará en buen grado, las propiedades del compuesto ya que en esta región se realiza la transmisión de esfuerzos entre la matriz y la fibra.

De aquí, que uno de los problemas más importantes de los plásticos reforzados, radica en como lograr la máxima adhesión entre matriz y refuerzo para obtener mayor resistencia en la unión resina-fibra porque sólo así es posible que las fibras distribuyan y soporten los esfuerzos debido a la carga a que se les somete y puedan evitar la propagación de fracturas a través de la resina. Sin embargo, hay dos factores que originan esfuerzos entre la resina y la fibra, impidiendo la máxima adherencia; uno de ellos, es la generación de esfuerzos debido a la contracción diferencial que se produce entre la fibra y la resina al solidificar ésta última. El otro factor lo constituye la concentración de esfuerzos por falta de contacto efectivo entre la resina y la fibra cuando por un mojado deficiente y la alta viscosidad de la resina se limita la interfase continua ya que ésta atrapa burbujas de aire y tiene escasa capacidad para penetrar en la superficie rugosa del sólido y de ésta forma desplazar las burbujas, (8).

La contracción diferencial mencionada es un problema del par resina-fibra; sin embargo, es posible mini

mizarlo cuando se trata de polímeros amorfos como el poliestireno, policloruro de vinilo (PVC), etc., empleando el moldeo cuasi-isométrico, el cual es un método que consiste en aprovechar la aplicación de presiones externas para mantener constante el volumen específico de la resina durante el proceso de moldeo, esto es posible ya que los polímeros ---amorfos al solidificar muestran una transición vítrea. En el caso de los polímeros semicristalinos (polietileno, polipropileno, nylon) la contracción diferencial es mayor que la exhibida por los polímeros amorfos, debido a que se presenta un cambio de fase al solidificar el polímero. El cambio de volumen específico genera esfuerzos cortantes en la interfase resina-fibra que tienden a ser minimizados por la capacidad de la deformación plástica que exhiben los polímeros semicristalinos. El otro factor también disminuye con esta forma de moldeo, al forzar el mojado de la resina sobre la fibra porque el líquido puede fluir fácilmente a través de las imperfecciones de la fibra, desplazar el aire e incrementar la área real de contacto entre la resina y la fibra, (8).

b) CONSIDERACIONES TEORICAS

ADHESION. La adhesión o adherencia se puede definir como la fuerza que se opone a la separación de dos cuerpos puestos en contacto; contacto que entre dos sólidos es difícil lograr, a no ser que uno de ellos se funda al momento de hacer la unión. Por ejemplo: un trozo de cemento asfáltico tiene poca adherencia con la superficie de un material pétreo, pero esta adhesión no es tan perfecta como la lograda cuando se cubre el material con el cemento asfáltico fundido, (9, 10).

Para explicar la adhesión han sido propuestas tres teorías: la de adsorción, la electrostática y la de di fusión.

La teoría de la adsorción atribuye la adhesión a interacciones de fuerzas tipo van der Waals entre mo léculas del líquido y del sólido cuando éstas se encuentran a una distancia menor de cinco angstroms. El proceso cinéti co se lleva a cabo en dos fases. La primera abarca la migra ción de las moléculas del fluido por medio del movimiento - macrobrowmiano que aproxima los grupos polares capaces de - formar enlaces con hidrógenos, a la superficie del sólido. En la segunda fase intervienen las fuerzas de van der Waals a distancias menores de cinco angstroms entre los grupos -- que actúan para promover la adhesión, (11).

La teoría electrostática se basa en fenóme- nos que ocurren cuando son puestos en contacto dos dieléct- tricos o un dieléctrico y un metal. El fundamento de esta - teoría es comparar el sistema adhesivo-adherente con un con densador. Así la doble capa eléctrica producida por el con tacto de dos polímeros diferentes se compara con las placas del condensador. Por lo que al separar las placas del con densador se establece una diferencia de potencial que se in crementa a medida que aumenta la distancia de separación en tre las dos superficies de contacto, lográndose una adheren cia hasta un límite donde sucede una descarga (ruptura de - la adhesión), manifestada por una chispa eléctrica. La doble capa eléctrica se puede formar mediante dos mecanismos: el primero acepta que la capa resulta de la adsorción y orien tación de grupos polares del adhesivo en la superficie del substrato o adherente que permite la creación del potencial

de adsorción que depende de la naturaleza y estructura de las moléculas adsorbidas. El segundo, establece que la capa se forma debido a la transición de electrones libres que se mueven a través del adherente, (11).

La teoría de la difusión explica que la adhesión entre polímeros está determinada por la difusión de cadenas moleculares o de sus segmentos, dando como resultado un fuerte enlace entre ambos materiales. Esta teoría está basada en características físicas de los polímeros como la estructura y flexibilidad de sus moléculas y capacidad de exhibir movimientos macrobrownianos, (11).

PROPIEDADES MECANICAS. Una de las propiedades mecánicas es el esfuerzo a la tracción σ , (12). Se define como la relación de la carga F , aplicada a la muestra sobre la sección transversal A :

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

La deformación ϵ , se define como la relación del cambio de longitud, $L - L_0$, que sufre la muestra entre la longitud L_0 :

$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2)$$

Al iniciarse la prueba de tensión, el material se deforma elásticamente; esto significa que si la carga se elimina, la muestra recupera su longitud y dimensión original. Se dice que el material sobrepasó el límite elástico cuando la carga es de tal magnitud que inicia una deformación plástica, es decir, no recupera sus dimensiones -

originales al retirar la carga.

Al alcanzarse la máxima resistencia a la tensión se forma en la parte reducida de la probeta, una constricción o "cuello" que es una reducción localizada en la área de la sección transversal en donde se concentra el alargamiento posterior (sección G, Figura 7). Una vez formada esta constricción, el esfuerzo disminuye al aumentar la deformación y continúa disminuyendo hasta la ruptura de la muestra.

Cuando un material se alarga, su sección transversal tiene que disminuir. Durante la deformación elástica este cambio es despreciable, mientras que en el transcurso de la deformación plástica, la deformación es apreciable. Por esta razón, cuando se trata de la deformación plástica, se emplean los términos de esfuerzo real y deformación real. El esfuerzo real se define como la relación entre la carga F , aplicada a la muestra sobre el valor instantáneo de área mínima soportando esa carga:

$$\sigma_R = \frac{F}{A_i} \quad (3)$$

La deformación real se define como la integral de la relación del incremento en la longitud de la sección reducida entre la longitud instantánea de la muestra:

$$\epsilon_R = \int_{L_0}^{L_i} \frac{dL}{L} = \ln \frac{L_i}{L_0} \quad (4)$$

Existen ciertas diferencias entre la curva de esfuerzo y la curva de esfuerzo real para un mismo mate-

rial. El esfuerzo real no alcanza su máximo valor en el período donde se inicia la formación del "cuello" como sucede con el esfuerzo; en vez de esto, el esfuerzo real aumenta, alcanzando su máximo valor al romperse la probeta.

En esta caracterización existe una expresión matemática que relaciona las velocidades de gráfica y tracción y el alargamiento que experimenta la probeta con la longitud inicial de la misma:

$$x = \frac{\text{ALARGAMIENTO (VEL. TRACCION)}}{\text{VELOCIDAD DE GRAFICA}} + \frac{\text{LONGITUD INICIAL PROBETA}}{\text{LONGITUD INICIAL DE PROBETA}},$$

donde x es el parámetro que varía a lo largo de la prueba - de tracción y es adimensional.

El obtener el logaritmo natural de x para cada valor de alargamiento, proporciona la deformación real - que experimenta la probeta y obedece la siguiente ecuación que es análoga a la ecuación número 4:

$$\epsilon_R = \ln x \quad (5)$$

Para el cálculo de la deformación se aplica la ecuación:

$$\epsilon = l - x \quad (6)$$

Los esfuerzos a la tracción se calculan mediante las siguientes ecuaciones:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (7)$$

$$\sigma_R = \frac{F(x)}{A_1}, \quad (8)$$

donde F es la carga aplicada en kilogramos, leída en la gráfica alargamiento-carga (Figura 1). La área transversal sometida a tracción A , en centímetros cuadrados y calculada como el producto que resulta de multiplicar el espesor por el ancho de la probeta (Figura 2).

El módulo de elasticidad real es calculado por la siguiente ecuación y en las tablas se escribirá como M.E:

$$M_R = \frac{F(x)}{A(\ln x)} \quad (9)$$

TENSION SUPERFICIAL CRITICA. La tensión superficial crítica se calcula en función de la tensión superficial del líquido y del ángulo de contacto formado entre éste y la fibra o monofilamento. El método para medir ángulos de contacto o de mojado está basado en el método de Zisman, el cual consiste en inclinar gradualmente, el monofilamento o fibra parcialmente sumergido en el líquido contenido en un recipiente de teflón, hasta que desaparezca uno de los meniscos y así determinar la inclinación respecto de la horizontal, donde el ángulo formado es equivalente al ángulo de contacto, (13, 14).

Graficando el coseno del ángulo de contacto en las ordenadas y en las abscisas la tensión superficial de los líquidos, se obtiene una recta que al cruzar el valor del ángulo cuyo coseno es uno, se obtiene la tensión superficial crítica de la fibra o del monofilamento como se puede apreciar en la Figura 17, (13).

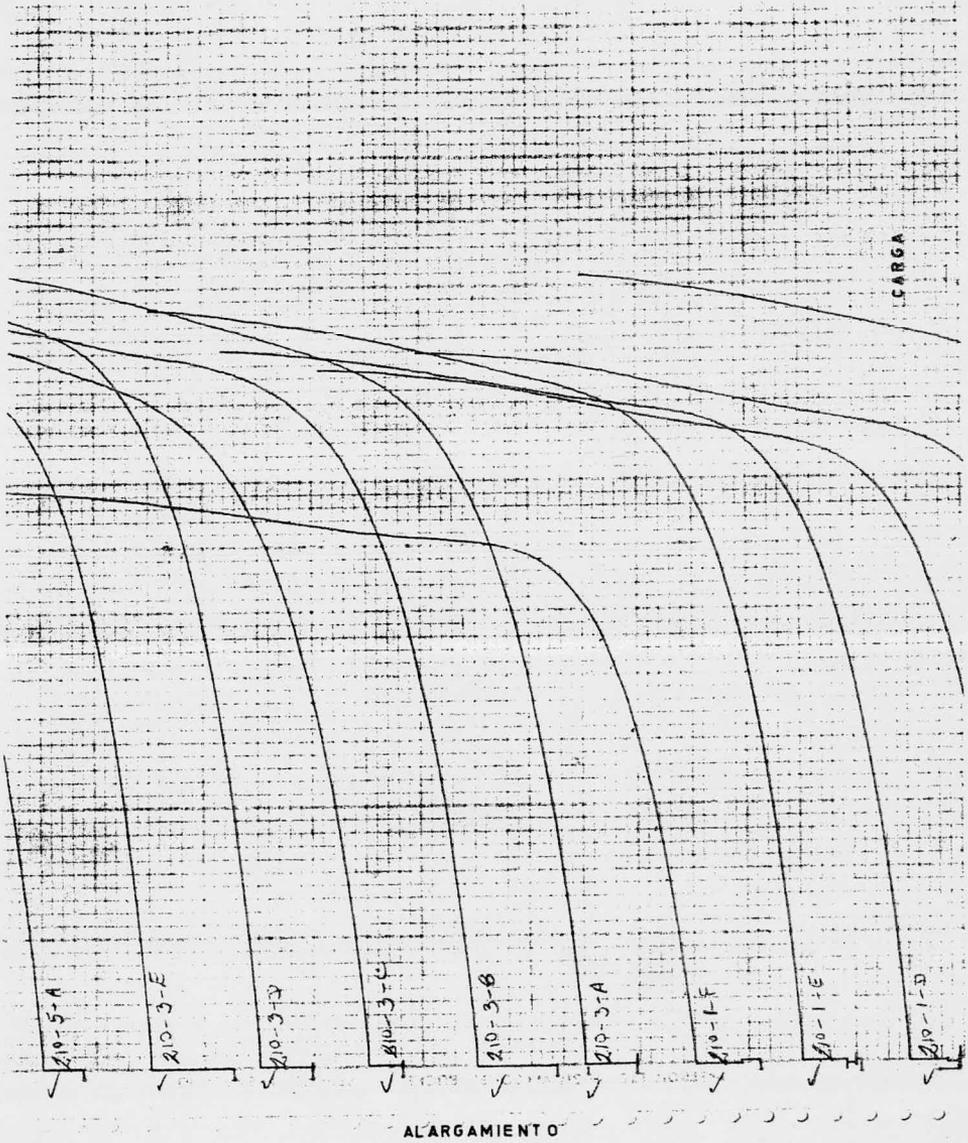


FIGURA 1. GRAFICA ALARGAMIENTO-CARGA
DE POLIETILENO REFORZADO.

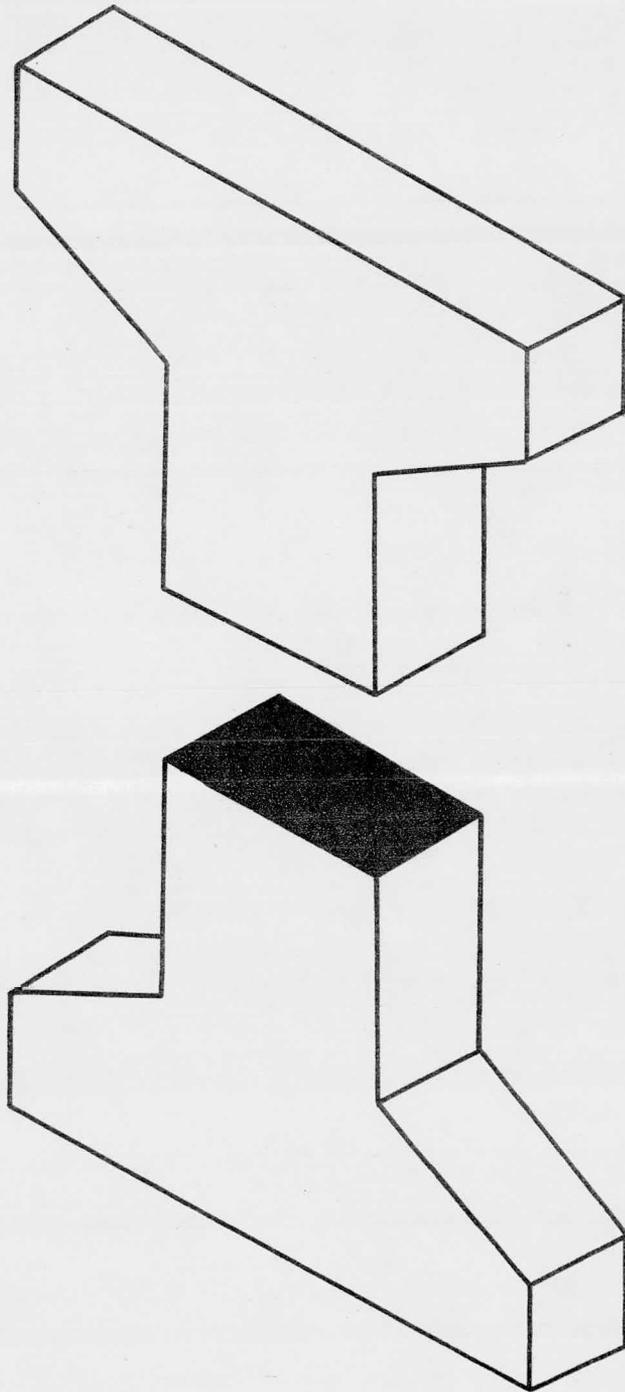


FIGURA 2. AREA TRANSVERSAL DE PROBE TA SOMETIDA A TRACCION (re- gión oscura).

DENSIDAD. La densidad tanto del polietileno como del refuerzo, obedece la siguiente ecuación:

$$V_F = V - \frac{P_1 - P_2 - P_3}{\rho}$$

Donde:

V_F = Volumen de fibra

V = Volumen del líquido de referencia

P_1 = Peso del picnómetro completo conteniendo en su interior fibra y líquido

P_2 = Peso del picnómetro vacío y sus accesorios

P_3 = Peso de fibra

ρ = Densidad del líquido de referencia

Una vez obtenido el volumen de la fibra o polietileno, se procede a calcular el valor de la densidad con la siguiente expresión matemática:

$$\rho_F = \frac{P_3}{V_F} \quad (11)$$

P A R T E E X P E R I M E N T A L

Se realizaron pruebas preliminares con objeto de determinar el efecto del tipo o forma del refuerzo en las propiedades mecánicas del polietileno reforzado. El refuerzo empleado fue nylon y rayón. El rayón únicamente en forma de gránulos también conocidos como pellets y el nylon en forma de gránulos y de fibra.

a) MATERIALES. Las especificaciones de los materiales se proporcionan en las Tablas 1 y 2, mismas que se obtuvieron de los fabricantes: Celulosa y Derivados, S.A. Materiales Plásticos, S. A. y Plásticos y Derivados, S. A.

T A B L A 1

MATERIAL	PRESENTACION	TEMPERATURA FUSION (°C)	DENSIDAD (g cm ⁻³)
POLIETILENO	GRANULOS	115	0.91-0.94
	PLACA	115	0.91-0.94
N Y L O N	GRANULOS	220	1.14
	MONOFILAMENTO	220	1.14
	FIBRA	220	1.14
R A Y O N	GRANULOS	160	1.30

TABLA 1. ESPECIFICACION DE MATERIALES.

T A B L A 2. ESPECIFICACION DE MATERIALES.

PRESENTACION	DENIER ⁽¹⁾	FILAMENTO	DIAMETRO EN MICRAS	
			TOTAL	FILAMENTO
MONOFILAMENTO		1	250.00	250.00
MONOFILAMENTO		1	400.00	400.00
F I B R A	210	36	161.65	26.94
F I B R A	630	105	279.98	27.32
F I B R A	1050	140	361.45	30.55

(1) El término denier es la unidad de medida que define el diámetro de las fibras textiles, expresando el peso en gramos de nueve mil metros de fibra o de hilo; por ejemplo: 210 deniers significa que 210 gramos de fibra tienen una longitud de 9000 metros. Este término relaciona la densidad de la fibra y los gramos con el diámetro de la fibra o del filamento mediante las siguientes ecuaciones:

$$D_{\text{fibra}} = 11.91 \sqrt{\frac{\text{DENIER}}{\text{DENSIDAD}}}$$

$$D_{\text{filamento}} = 11.91 \sqrt{\frac{\text{D E N I E R}}{\text{DENSIDAD (FILAMENTOS)}}},$$

donde la densidad está dada en gramos cm^{-3} y el diámetro en micras.

b) PREPARACION DE MUESTRAS. La elaboración de muestras se llevó a cabo, considerando: a) control en el espesor de la placa de polietileno reforzado, b) eliminación de aire ocluido en las muestras y c) obtención de muestras representativas para efectuar pruebas de tensión uniaxial.

El equipo usado para la elaboración de muestras de polietileno reforzado consistió de una prensa hidráulica con capacidad de veinte toneladas que es aplicada sobre una área de trabajo de 400 cm^2 . Sistema de calentamiento por

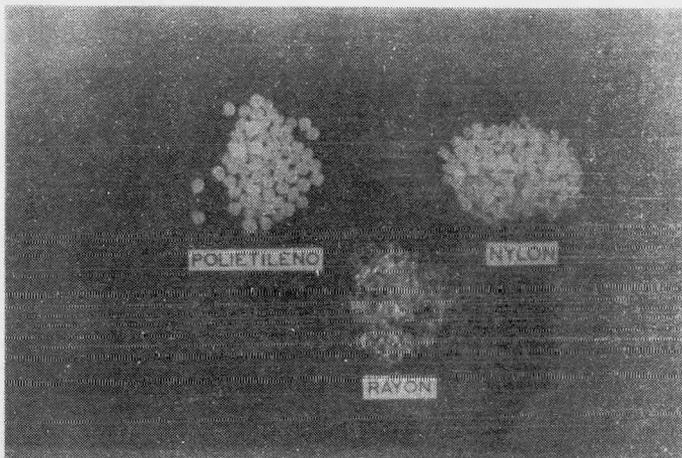


FIGURA 3. MATERIALES EN PRESENTACION DE GRANULOS O PELLETS.

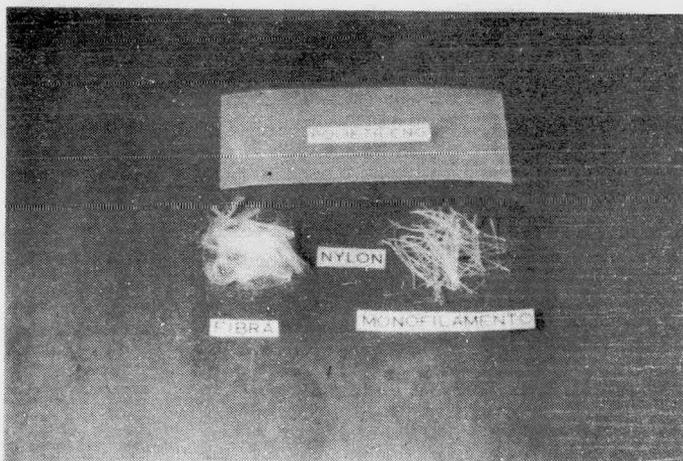


FIGURA 4. PLACA DE POLIETILENO Y NYLON EN PRESENTACION MONOFILAMENTO Y FIBRA.

medio de resistencias eléctricas que proporcionan 1800 watt hora, control automático de temperatura de 0 a 400°C, sistema de enfriamiento en área de calentamiento o platinas por medio de agua, medidores de temperatura y presión en las -- platinas, este equipo se muestra en la Figura 5. Dos moldes tipo macho y hembra de acero con sistema de enfriamiento, -- para soportar presiones menores de 1000 kg cm⁻², con áreas efectivas de operación de 234 y 45 cm² respectivamente (Figura 6), entradas para termopares en ambas placas, (15).

Se prepararon cuatro tipos de muestras: a) -- con granos (pellets) de polietileno y nylon, b) placa de polietileno con fibra de nylon de dos centímetros de longitud, c) monofilamento de nylon con placa de polietileno y d) gránulos de polietileno con pellets de rayón.

El ciclo de moldeo para los granos se hizo de la siguiente forma: se mezclan los pellets, los que colocados en el molde se prensan entre las platinas para aplicarles calor. Se enfría sin dejar de ejercer la presión externa hasta la temperatura ambiente con una velocidad media de enfriamiento de 30°C min⁻¹. El ciclo para placa de polietileno y fibra como de placa de polietileno y monofilamento, se llevó a cabo colocando una capa de refuerzo en medio de dos placas de polietileno que son prensados para formar un "emparedado" que se calienta hasta la temperatura de 135°C. Temperatura a la cual se inicia el tiempo de moldeo, por -- ejemplo: si se quiere un tiempo de moldeo de diez minutos, se debe mantener constante la temperatura durante diez minutos para después enfriar sin retirar la presión. A la temperatura de 135°C se logra el fundido completo del polietileno sin peligro de que se inicie su degradación. El arre--

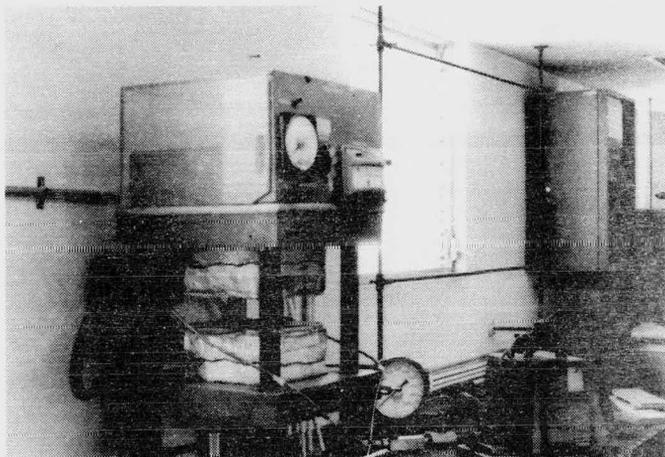


FIGURA 5. PRENSA HIDRAULICA EMPLEADA EN LA ELABORACION DE MUESTRAS DE POLIETILENO REFORZADO.

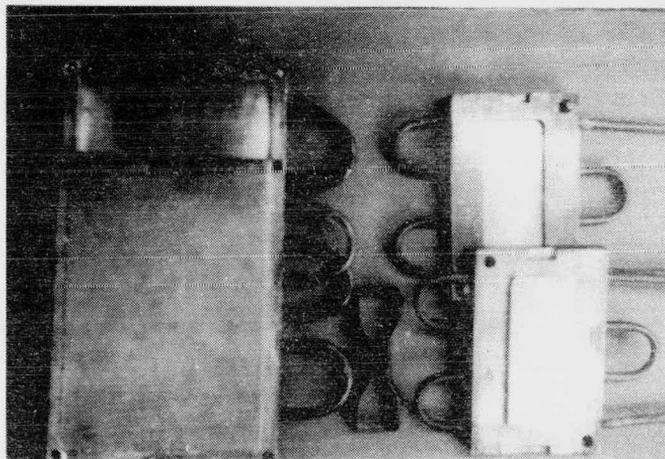


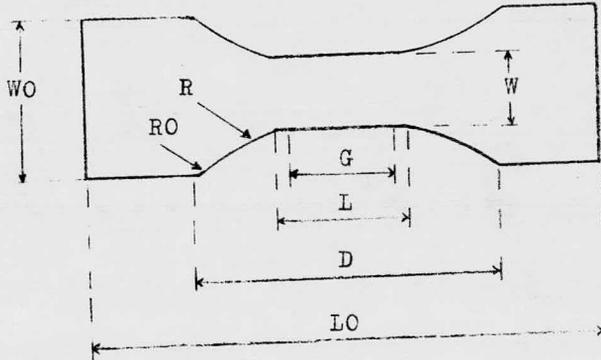
FIGURA 6. MOLDES PARA ELABORAR MUESTRAS Y SUAJE PARA CORTAR PROBETAS DE - POLIETILENO REFORZADO CON FIBRA Y MONOFILAMENTO DE NYLON.

glo de la fibra sobre la matriz se distribuye uniformemente para obtener un material cuasi-isotrópico y así, los esfuerzos generados cuando se aplica una carga paralela al plano de la placa, se repartan a lo largo y ancho de la matriz y no en un sólo sentido, como es el caso de la fibra con arreglo unidireccional o en dos sentidos al tratarse de una malla, (16).

c) PREPARACION DE PROBETAS. De cada muestra se obtienen probetas que son cortadas con un suaje según la norma ASTM D-638-64T (Figura 7). El espesor de la probeta se determinó con tornillo micrométrico según la norma oficial: Método de Prueba para la Determinación de Espesor de Películas de Plástico DGN-3-1969. El ancho se determinó según la norma oficial: Método de Prueba para la Determinación de Ancho en Películas de Plástico con o sin Soporte DGN-2-1969.

d) PRUEBAS MECANICAS. Dado que el grado de adhesión entre matriz y refuerzo se manifiesta en el mejoramiento de las propiedades mecánicas de los polímeros reforzados, se optó por determinar el módulo elástico y el esfuerzo a la tensión en pruebas de tracción uniaxial de acuerdo a la norma oficial: Método de Prueba para la Determinación de la Resistencia a la Tracción y Alargamiento en Películas de Plástico con y sin Soporte DGN-5-1968. La prueba de Tensión consiste en deformar un material hasta su ruptura, con el objeto de evaluar la capacidad de carga del material, (13).

Para los ensayos de tracción uniaxial se em-



DIMENSIONES (ver esquema)	MILIMETROS
W	6
L	33
W ₀	19
LO	115
G	25
D	64
R	14
RO	25

FIGURA 7. DIMENSIONES DEL SUAJE Y QUE CORRESPONDEN A UNA PRUEBA.

pleó una máquina de pruebas INSTRON-1115 con control automático de velocidad para la gráfica alargamiento-carga y de velocidad de tracción (Figura 8).

En esta tesis se hará mención a un módulo de elasticidad relativo, MER, definido como el cociente que resulta de dividir el módulo elástico del polietileno reforzado entre el módulo elástico del polietileno sin reforzar. - Con este módulo elástico relativo se pretende visualizar mejor los resultados ya que si es mayor que la unidad, significa que existe un aumento en sus propiedades, es decir, la característica mecánica del polietileno reforzado es mejor que la del polietileno sin reforzar y por ende ofrece mayor resistencia a la ruptura.

e) PRUEBAS FISICAS

TEMPERATURA DE FUSION. La temperatura de fusión se obtuvo mediante estudio de Calorimetría Diferencial que consiste en colocar una muestra de polímero en la celda de un calorímetro Perkin-Elmer, previa calibración de éste con Indio, calentar la celda y obtener la gráfica de temperatura contra la relación $\frac{\Delta T}{T}$ que proporciona automáticamente el calorímetro; gráfica que se muestra en la Figura 9. - Cuando esta relación alcanza su máximo valor es indicio de que el polímero ha fundido y así, obtener el punto de fusión de éste.

TENSION SUPERFICIAL CRITICA. La tensión superficial crítica se determinó con ayuda del aparato mostrado en la Figura 10. Se colocó la fibra o monofilamento semi sumergido en un líquido no muy volátil, en este caso fueron la serie de alcanos desde el Pentano hasta Dodecano, en el

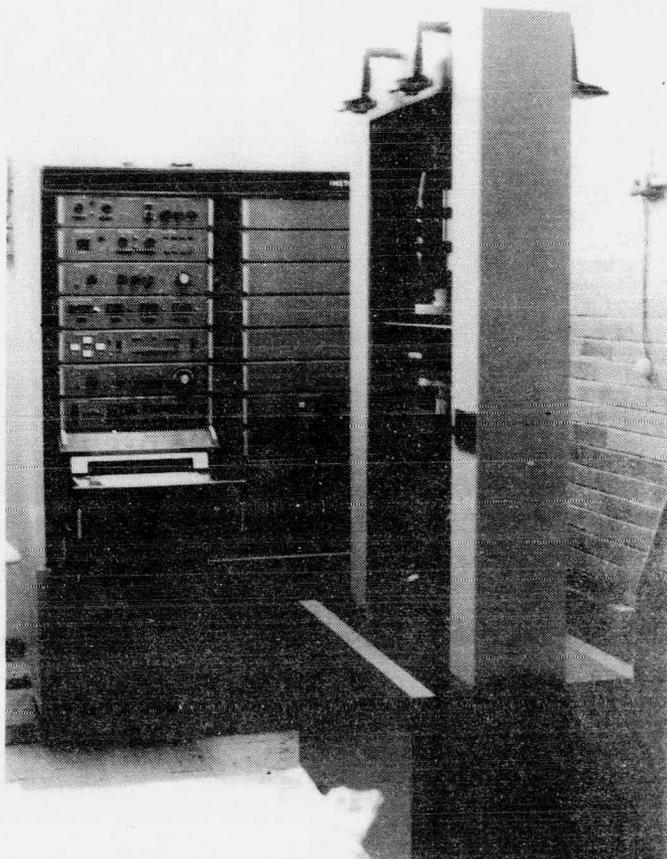


FIGURA 8. MAQUINA DE PRUEBAS INSTRON PARA EFECTUAR PRUEBAS DE TENSION UNIAxIAL DE LAS PROBETAS DE POLIETILENO REFORZADO.

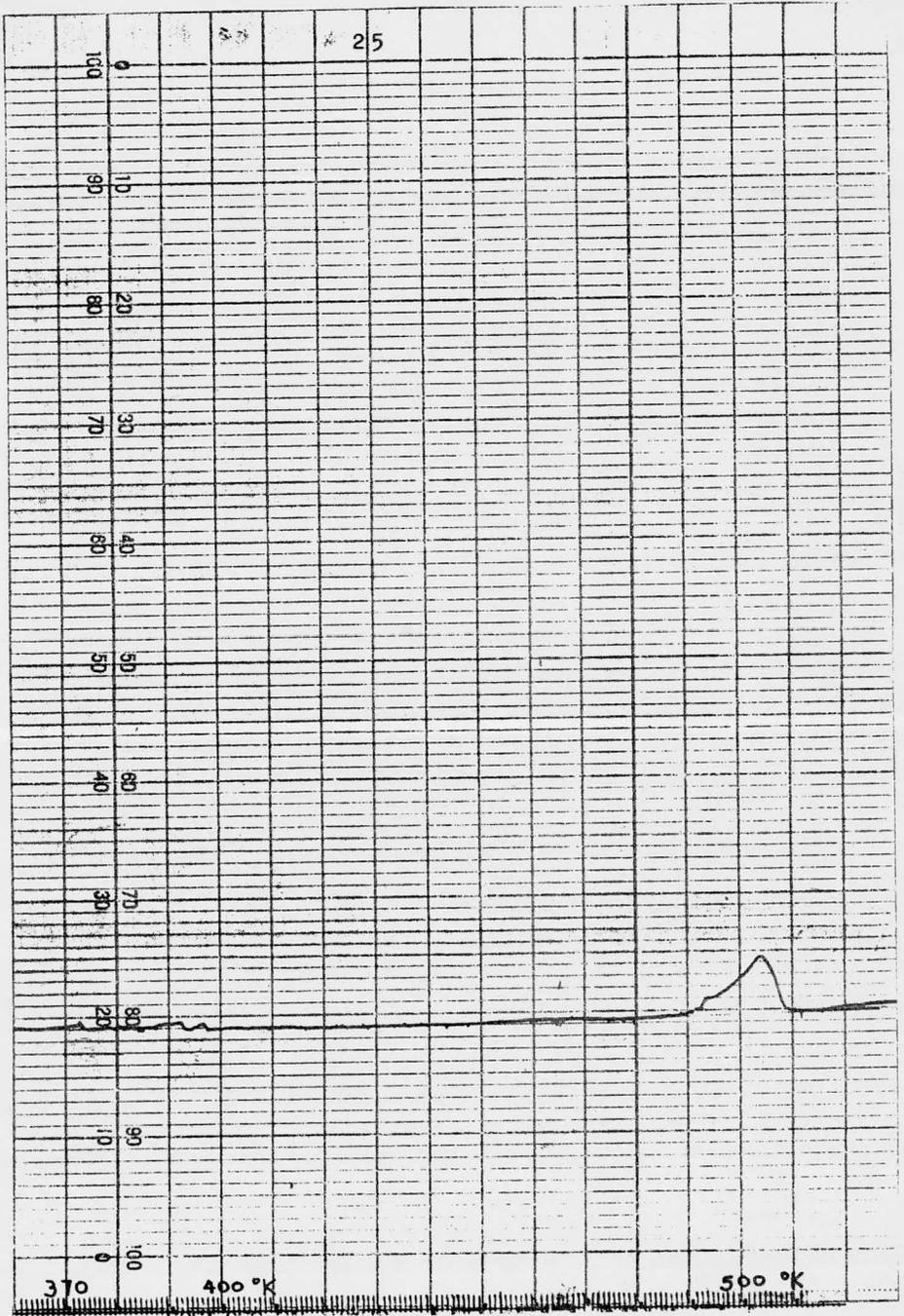


FIGURA 9. TERMOGRAMA DE NYLON 6.

Tension Superficial Critica

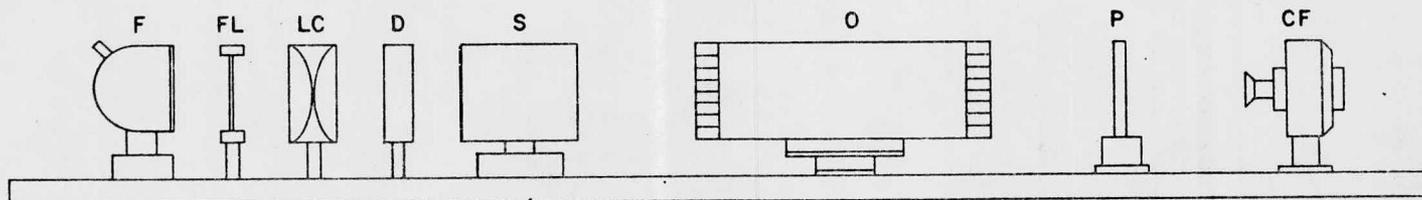


FIG. 10. ESQUEMA DEL APARATO EMPLEADO, MONTADO SOBRE UN RIEL OPTICO

F FUENTE LUMINOSA
FL FILTRO DE LUZ
LC LENTES CONDENSADRES
D DIAFRAGMA
CF CAMARA FOTOGRAFICA

S SISTEMA DE INCLINACION
O SISTEMA OPTICO DE PROYECCION
P PANTALLA PROYECTORA TRANSLUCIDA
PROVISTA DE GONIOMETRO

sistema de inclinación S, para proyectar la imagen del mono filamento y la superficie del líquido sobre la pantalla proyectora translúcida provista del goniómetro P, inclinar el monofilamento hasta que uno de los meniscos formados por él y la superficie del líquido, desaparezca y así, leer el ángulo formado. Graficando el coseno del ángulo formado contra la tensión superficial del líquido, se obtiene el valor de la tensión superficial crítica como se puede apreciar en la Figura 17.

DENSIDAD. Esta se determinó con ayuda de picnómetro que sirvió para determinar el volumen de cierta cantidad de fibra o polietileno, manifestado por el volumen líquido de referencia desplazado y de acuerdo con la ecuación número 10. Los resultados se presentan en la Tabla 5.

RESULTADOS Y DISCUSION

a) RESULTADOS PRELIMINARES. Inicialmente se ensayó preparando el refuerzo con gránulos o pellets de --- nylon mezclados con pellets de polietileno con un porcentaje en peso de refuerzo de 20%. Debido a que el polietileno inició su descomposición a 210°C , no fue posible preparar las muestras a por lo menos, la temperatura de fusión del nylon, 230°C . Por esta razón, no se observó una difusión amplia de las moléculas de nylon hacia el polietileno. En la Figura 11 se muestra el material preparado por el método --- descrito. En la siguiente figura se puede observar la poca difusión del nylon en el polietileno.

De acuerdo con los resultados anteriores se buscó un refuerzo que no tuviera un punto de fusión tan elevado como es el del nylon (230°C), por lo que se efectuaron pruebas con pellets de rayón que tienen un punto de fusión de 160°C . Se hizo la mezcla con pellets de polietileno, se moldeó hasta la temperatura de 180°C y se obtuvo una muestra donde no se observó la fusión esperada entre rayón y polietileno (Figura 13). Esta falta de homogenización se explica porque el rayón contiene sulfuro de carbono que se incorpora en su manufactura y que la proporciona un aspecto sedoso de baja tensión superficial y abate en consecuencia, el coe

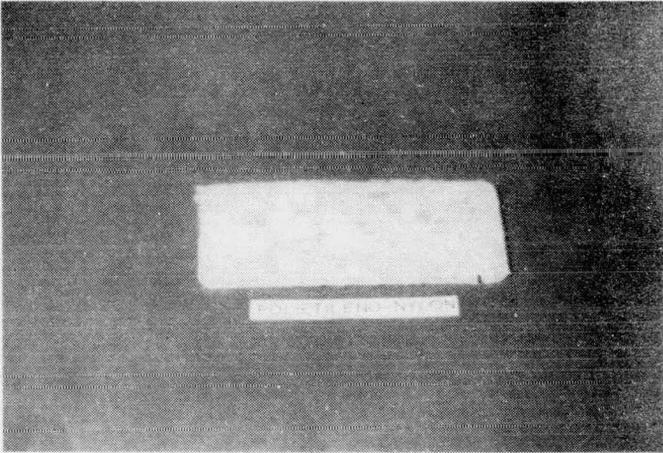


FIGURA 11. MATERIAL COMPUESTO A BASE DE PELLETS DE POLIETILENO Y NYLON.

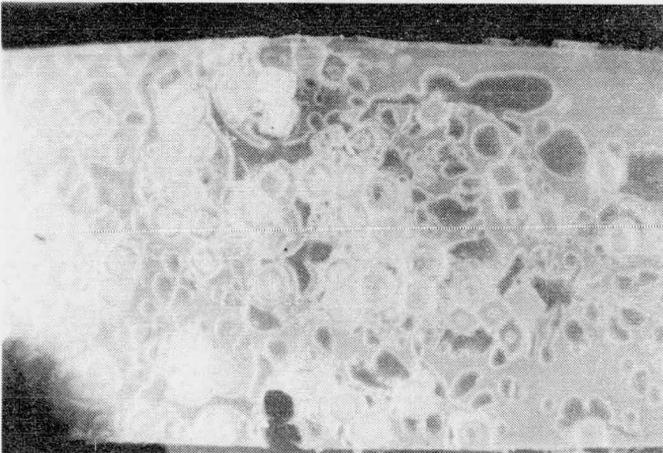


FIGURA 12. DETALLE DE POLIETILENO REFORZADO CON NYLON DONDE SE OBSERVAN LOS PELLETS DE NYLON NO FUNDIDOS, DEMOSTRANDO CON ESTO LA POCA DIFUSION QUE EXISTIO.

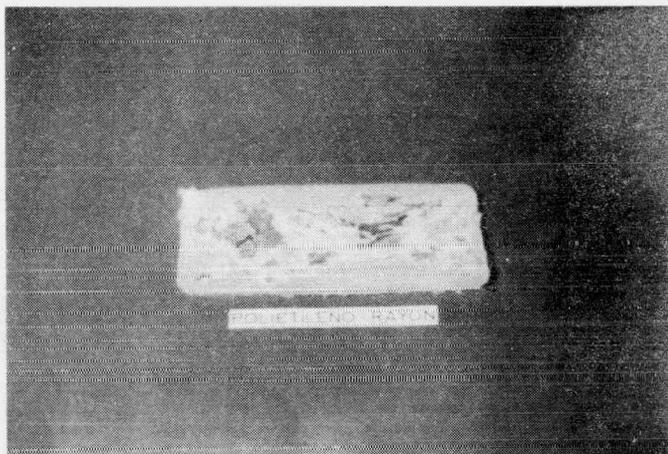


FIGURA 13. MATERIAL COMPUESTO A BASE DE PELLETS DE POLIETILENO Y RAYON.

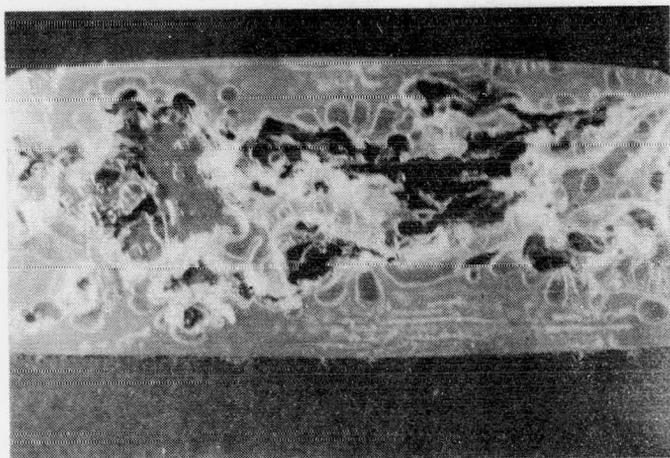


FIGURA 14. DETALLE DE POLIETILENO REFORZADO CON RAYON. LA PARTE CRISTALINA LOCALIZADA EN EL LADO SUPERIOR IZQUIERDO DE LA FOTOGRAFIA, ES EL RAYON FUNDIDO.

ficiente de fricción haciendo que los líquidos no lo mojen y por lo tanto evitar la difusión de moléculas del rayón hacia el polietileno (Figura 14).

En base a los anteriores resultados se decidió emplear nylon en forma de monofilamento de 0.25 y 0.40 milímetros de diámetro. Preparada la muestra se le aplicó calor hasta alcanzar la temperatura de 135°C y tiempo de moldeo de cero minutos; obteniéndose un material como se muestra en la Figura 15. Las propiedades mecánicas de dichas muestras se presentan en la Tabla 3 que dan los valores promedio del módulo de elasticidad relativo, MER, obtenidos al reforzar el polietileno con monofilamento de nylon. En la Tabla 3 se observa que las propiedades mecánicas del polietileno reforzado decaen con respecto a las del polietileno sin reforzar debido a la falta de adherencia entre el polietileno y el monofilamento de nylon. La falta de adherencia se manifiesta por el fácil desprendimiento del refuerzo de la matriz en la zona de ruptura de las probetas como se aprecia en la Figura 16. Esta falta de adherencia se debe al recubrimiento que trae el monofilamento y que le imparte un efecto lubricante que baja su tensión superficial crítica, $16.30 \text{ dinas cm}^{-1}$ y que fue determinada experimentalmente por el Método de Zisman (Figura 17). El recubrimiento del monofilamento que es a base de sulfuro de molibdeno, impide que sea mojado por el polietileno al abatirse el coeficiente de fricción.

La siguiente prueba consistió en emplear fibra de nylon de 630 y 1050 deniers que corresponden a 279.98 y 361.45 micras de diámetro, tiempo de moldeo de cero minutos y temperatura de 135°C . Como se aprecia en la Tabla 4,

T A B L A 3

MATERIAL	M.E. kg cm ⁻²	M.E.R
POLIETILENO	957.5	1.000
POLIETILENO- MONOFILAMENTO	938.4	0.980

TABLA 3. CARACTERISTICAS MECANICAS DE
POLIETILENO-MONOFILAMENTO DE
NYLON.

T A B L A 4

MATERIAL	M.E kg cm ⁻²	M.E.R
POLIETILENO	959.8	1.000
POLIETILENO - NYLON 630	1140.2	1.188
POLIETILENO -NYLON 1050	1061.5	1.106

TABLA 4. CARACTERISTICAS MECANICAS DE
POLIETILENO-FIBRA DE NYLON.



FIGURA 15. MATERIAL COMPUESTO A BASE DE MONOFILAMENTO DE NYLON Y PLACA DE POLIETILENO.

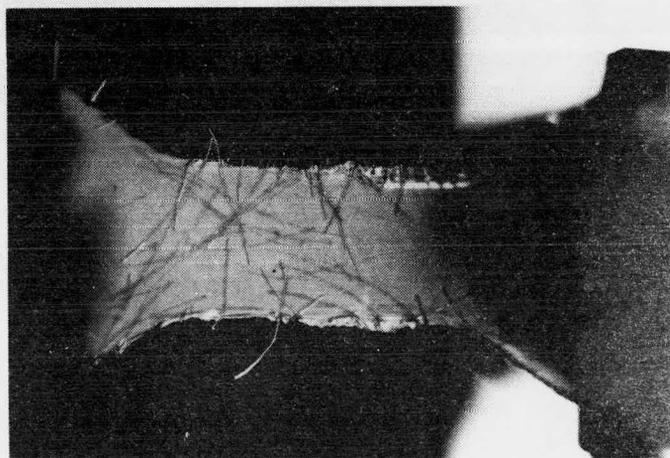


FIGURA 16. PROBETA DE POLIETILENO-MONOFILAMENTO DONDE SE APRECIA EL DESPRENDIMIENTO DEL NYLON POR FALTA DE ADHERENCIA CON EL POLIETILENO.

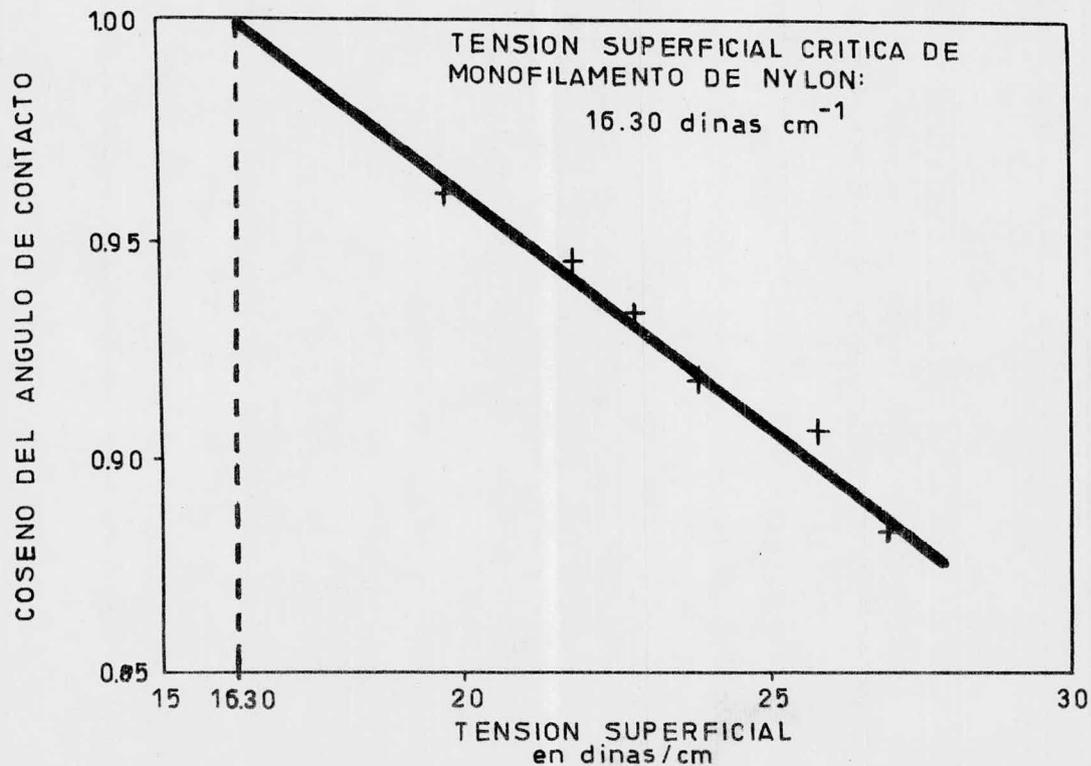


FIGURA 17. GRAFICA COSENO DEL ANGULO DE CONTACTO-TENSION SUPERFICIAL

las propiedades mecánicas del polietileno reforzado son superiores a las del polietileno hasta en un veinte por ciento lo que indica que sí existe adhesión entre polietileno y fibra de nylon. Adherencia que permite la transmisión de esfuerzos en la muestra al ser sometida a cargas. El material compuesto que se obtuvo se presenta en la Figura 18.

La fibra de nylon está cubierta con un apresto de óxido de titanio que favorece la adhesión con el polietileno a diferencia del monofilamento que contiene un lubricante. El polietileno moja la fibra de nylon porque su tensión superficial es menor que la tensión superficial crítica de la fibra. Esto se observó porque al tratar de medir la tensión superficial crítica de la fibra, el líquido mojó la fibra completamente independientemente, del ángulo de inclinación de la fibra.

Una vez analizados los resultados de las pruebas preliminares, consistentes en observar los grados de adhesión y las propiedades mecánicas del polietileno reforzado, se optó por el empleo de la fibra de nylon de dos centímetros de longitud por adherirse mejor a la matriz.

Para fines prácticos se comprobaron los valores de las especificaciones de los fabricantes: temperatura de fusión, densidad y diámetros de fibra y filamento y se obtuvieron otros como el módulo de elasticidad y el esfuerzo a la tensión del polietileno que eran necesarios para la determinación de las propiedades mecánicas del polietileno reforzado. Estas determinaciones están basadas en métodos de prueba de la Dirección General de Normas de la Secretaría de Programación y Presupuesto, obteniéndose los resul



FIGURA 18. MATERIAL COMPUESTO A BASE DE FIBRA DE NYLON Y PLACA DE POLIETILENO.

tados mostrados en la Tabla número 5.

Los siguientes resultados se refieren a las características de polietileno reforzado con fibra de nylon, es decir, la influencia del efecto del diámetro de fibra, el contenido de refuerzo y los efectos del tiempo de moldeo en las propiedades mecánicas del material compuesto.

b) SELECCION DEL DIAMETRO. Las muestras de polietileno reforzado con fibra de nylon de 210, 630 y 1050 deniers, preparadas con porcentajes en peso de fibra del 1, 3 y 5% y tiempo de moldeo de cero minutos; se les sometió a pruebas de tensión uniaxial, reportando los datos que se muestran en la Tabla 6 y que se representan gráficamente en la Figura 19.

De los resultados mostrados se deduce que el módulo elástico del polietileno reforzado con fibra de 630 deniers alcanza valores máximos del 30% en el MER, cuando el porcentaje en peso de fibra es del 3%, mientras que las fibras de 210 y 1050 deniers alcanzan valores máximos del 19.7 y 19% respectivamente, también a un porcentaje en peso de fibra del 3%. De lo anterior se concluye que el MER está en razón del porcentaje de fibra presente en la muestra, llega a un máximo y después decae al incrementar el contenido de fibra. El MER decrece por un exceso de fibra, es decir, por no encontrarse recubierta con polietileno ya que una cantidad apreciable de ésta se encuentra en el centro de la muestra y la presión aplicada sobre el molde no es suficiente para obligar al polietileno fundido a mojarla. Al aplicarse una carga, el nylon no recubierto con polietileno no le ofrece ninguna resistencia, es decir, no hay transmisión

T A B L A 5

MATERIAL	DENIER	FILAMENTOS	TEMPERATURA DE FUSION °C	DENSIDAD g cm ⁻³	D I A M E T R O		MODULO ELASTICO kgcm ⁻²	ESFUERZO A LA TENSION kg cm ⁻²	GRADO CRISTALINO %
					FIBRA MICRAS	FILAMENTO MICRAS			
POLIETILENO	—	—	110	0.918	—	—	959.80	18.56	28
NYLON	210	36	231	1.087	165.54	27.59	—	—	38
NYLON	630	105	231	1.023	295.56	28.84	—	—	38
NYLON	1050	140	231	1.032	379.90	32.11	—	—	38

TABLA 5. PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE POLIETILENO Y NYLON.

T A B L A 6

MATERIAL	%	M.E kg cm ⁻²	M.E.R
POLIETILENO		959.8	1.000
POLIETILENO - NYLON 210	1	1087.4	1.133
	3	1148.9	1.197
	5	1106.6	1.153
POLIETILENO - NYLON 630	1	1140.2	1.188
	3	1247.7	1.300
	5	1156.6	1.205
POLIETILENO -NYLON 1050	1	1061.5	1.106
	3	1142.2	1.190
	5	1132.6	1.180

TABLA 6. CARACTERISTICAS MECANICAS DE
POLIETILENO REFORZADO CON FI
BRA DE NYLON.

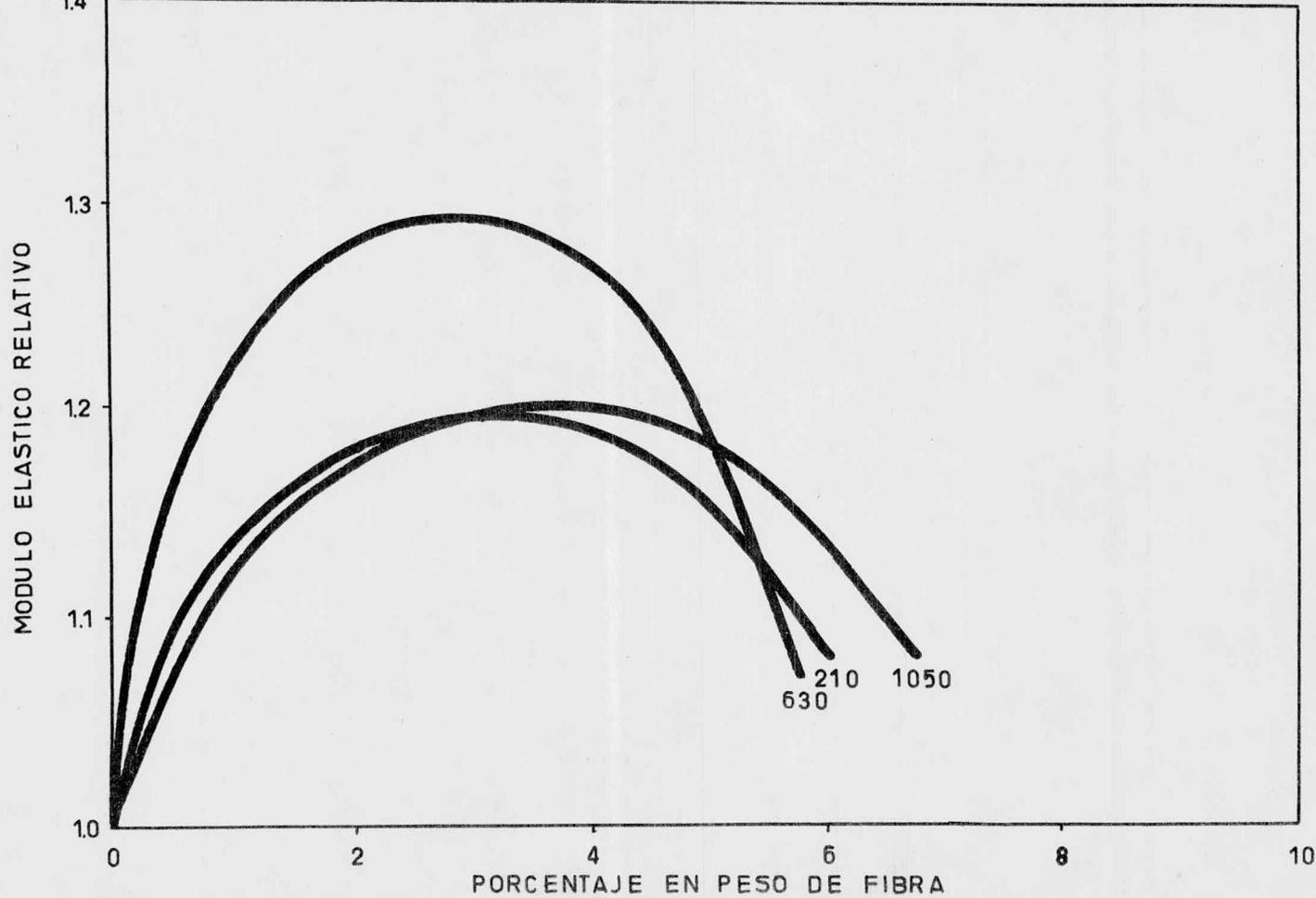


FIGURA 19. GRAFICA M.E.R-PORCENTAJE EN PESO DE FIBRA DE POLIETILENO REFORZADO

de esfuerzos en esta zona de la muestra.

La área aparente de contacto de la fibra se determinó considerando que la superficie total de los filamentos de la fibra son susceptibles de ser mojados por el polietileno. En esta forma se obtuvieron los datos presentados en las Tablas 7 y 8 para cada tipo de fibra empleada.

En la Figura 20 se grafica el módulo elástico relativo contra área aparente de fibra descrita en la Tabla 8. En esta figura se observa que el módulo elástico del plástico reforzado con fibra de 630 deniers es 30% superior al módulo de elasticidad del polietileno sin reforzar y presenta una menor área aparente de contacto con respecto a las fibras de 210 y 1050 deniers (471.84 cm^2) y por lo tanto -- ocupa una menor área por gramo de fibra ($807.31 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$). -- Además el MER en las muestras con fibra de 630 deniers, tiene valores superiores en comparación con las otras muestras.

Los resultados de esfuerzo de cedencia máximos obtenidos al reforzar polietileno con fibra de nylon -- respecto a los logrados con polietileno reforzado con fibra de vidrio, son bastantes buenos ya que la diferencia entre ellos es del orden del 5%. Esto representa un ahorro considerable de fibra en el material compuesto. En la Tabla 9 se presentan estos valores, así como los porcentajes en peso de fibra a que se manifestaron dichos valores.

La Figura 21 representa la curva esfuerzo-deformación del polietileno sin reforzar; mientras que la Figura 22, la curva real de esfuerzo-deformación del polietileno

T A B L A 7

DENIER	FILAMENTO	D I A M E T R O		A R E A	
		FIBRA MICRAS	FILAMENTO MICRAS	FILAMENTO mm ²	CONTACTO cm ² tramo ⁻¹
210	36	165.54	27.59	1.733	0.62
630	105	295.56	28.84	1.812	1.90
1050	140	379.90	32.11	2.017	2.82

TABLA 7. AREA DE CONTACTO DE LAS FIBRAS DE NYLON.

T A B L A 8

DENIER	P E S O		TRAMOS	A R E A	
	FIBRA g	T R A M O g tramo ⁻¹		APARENTE cm ²	G R A M O cm ² g ⁻¹
210	0.1908	0.0004367	437	272.64	1428.66
	0.5838		1337	834.15	
	0.9937		2275	1419.37	
630	0.1908	0.0023567	81	154.11	807.31
	0.5838		248	471.84	
	0.9937		422	802.89	
1050	0.1908	0.0023867	80	225.90	1183.14
	0.5838		245	691.83	
	0.9937		416	1174.70	

TABLA 8. AREA APARENTE Y AREA POR GRAMO DE FIBRAS DE NYLON.

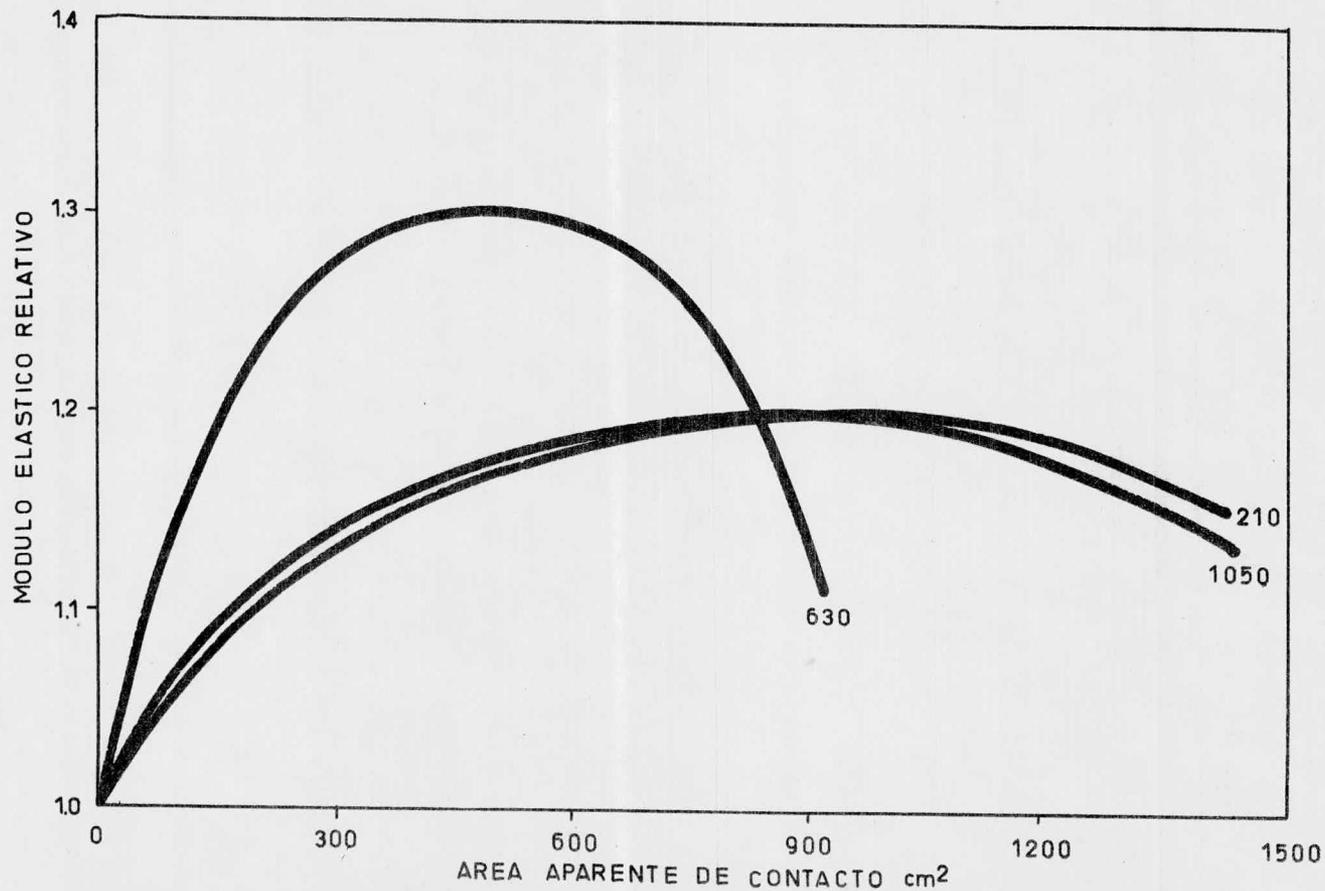


FIGURA 20. GRAFICA M.E.R.-AREA APARENTE DE CONTACTO DE POLIETILENO REFORZADO

T A B L A 9

MATERIAL	PORCENTAJE EN PESO DE FIBRA %	ESFUERZO CEDENCIA kg cm ⁻²
POLIETILENO- FIBRA DE NYLON	3	72.9
POLIETILENO- FIBRA DE VIDRIO	19 '	76.8 '

TABLA 9. ESFUERZO DE CEDENCIA DE POLIETILENO REFORZADO CON FIBRA DE NYLON Y DE POLIETILENO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO.

' Valores obtenidos de la referencia 13.

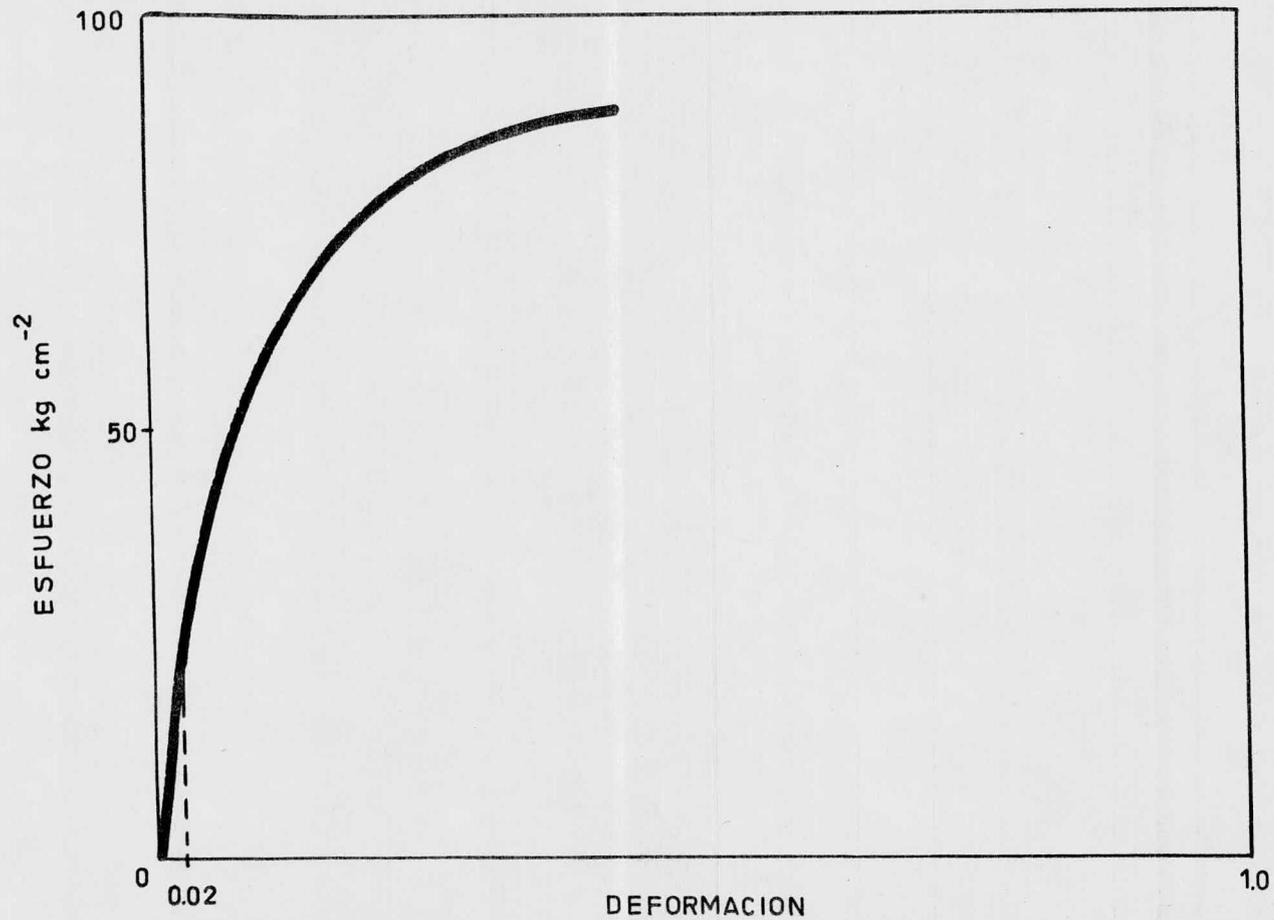


FIGURA 21. CURVA ESFUERZO-DEFORMACION DE POLIETILENO SIN REFORZAR

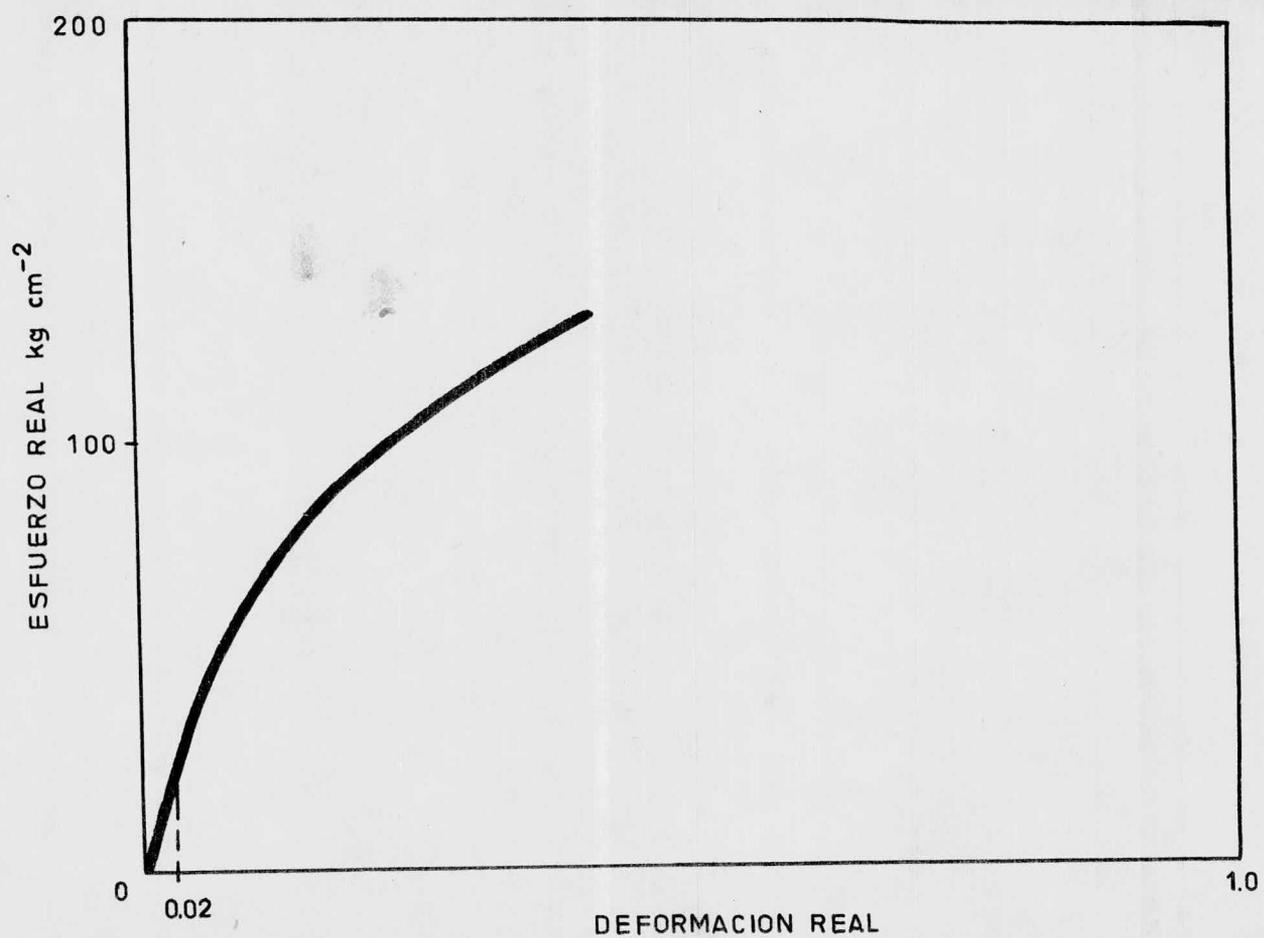


FIGURA 22. CURVA ESFUERZO-DEFORMACION REALES DE POLIETILENO SIN REFORZAR

leno sin reforzar. Estas gráficas se obtuvieron aplicando - las ecuaciones 5, 6, 7 y 8 mostradas en el capítulo de Antecedentes. Comparando las Figuras 21 y 22, se comprueba que el valor del esfuerzo de diseño en la región elástica, es menor que el esfuerzo real en la misma región, a una deformación del 2%. Deformación que acepta la norma ASTM D-638-64T para cualquier material.

En la Figura 23 se grafican los valores de la resistencia a la tracción de diseño mostrados en la Tabla - 10; observándose el aumento experimentado por el polietileno reforzado y donde nuevamente, la fibra de 630 deniers reporta el máximo valor respecto a la resistencia a la trac-ción del polietileno sin reforzar y reforzado con las fibras de 210 y 1050 deniers respectivamente.

Analizando los resultados anteriores se pasó a estudiar la influencia del tiempo de moldeo en las características mecánicas del polietileno reforzado con fibra de 630 denier porque ésta presenta mejores propiedades mecánicas que el polietileno reforzado con las fibras de 210 y -- 1050 deniers y además una mejor adhesión.

c) TIEMPO DE MOLDEO. Las muestras de polietileno reforzado con fibra de 630 deniers se prepararon con - un porcentaje en peso de fibra del 1, 3 y 5% y tiempos de - moldeo de 7, 15 y 20 minutos; obteniéndose los datos mostrados en la Tabla 11 y graficados en la Figura 24. Se observa que el módulo elástico del polietileno reforzado aumenta -- con el tiempo de moldeo, llegando a un máximo entre diez y quince minutos independientemente, de la cantidad de fibra presente en la muestra, para después decaer. Se observa tamu

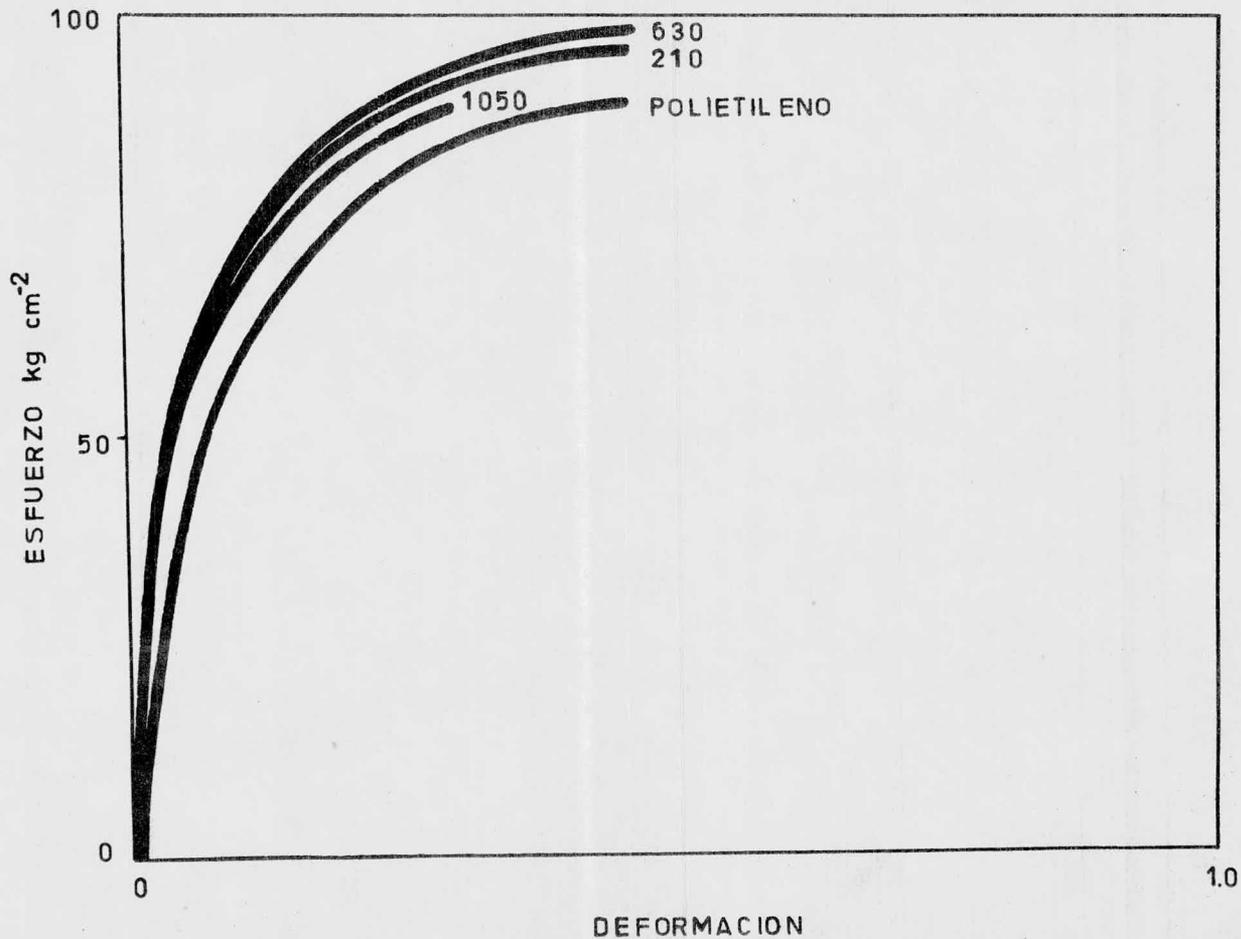


FIGURA 23. CURVAS ESFUERZO-DEFORMACION DE POLIETILENO CON O SIN REFUERZO

T A B L A 10

MATERIAL	RESISTENCIA A TRACCION	
	DISEÑO kg cm ⁻²	REAL kg cm ⁻²
POLIETILENO	18.56	18.94
POLIETILENO - NYLON 210	22.30	22.74
POLIETILENO - NYLON 630	24.23	24.74
POLIETILENO -NYLON 1050	22.17	22.61

TABLA 10. RESISTENCIA A LA TRACCION DE POLIETILENO REFORZADO CON FIBRA DE NYLON Y POLIETILENO SIN REFORZAR. EL POLIETILENO REFORZADO CON PORCENTAJE EN PESO DE FIBRA DEL 3%. VALORES OBTENIDOS A UNA DEFORMACION DEL 2%

T A B L A 1 1

MATERIAL	%	TIEMPO MOLDEO min	M.E kg cm ⁻²	M.E.R
POLIETILENO	-	-	959.8	1.000
POLIETILENO - NYLON 630	1	0	1140.2	1.186
	3	0	1247.7	1.300
	5	0	1156.6	1.205
POLIETILENO - NYLON 630	1	7	1246.8	1.299
	3	7	1247.7	1.300
	5	7	1222.8	1.274
POLIETILENO - NYLON 630	1	15	1257.3	1.310
	3	15	1381.1	1.439
	5	15	1285.2	1.339
POLIETILENO - NYLON 630	1	20	1099.9	1.146
	3	20	1118.2	1.165
	5	20	1066.3	1.111

TABLA 11. CARACTERISTICAS MECANICAS DE POLIETILENO
NO REFORZADO CON FIBRA VARIANDO EL ---
TIEMPO DE MOLDEO.

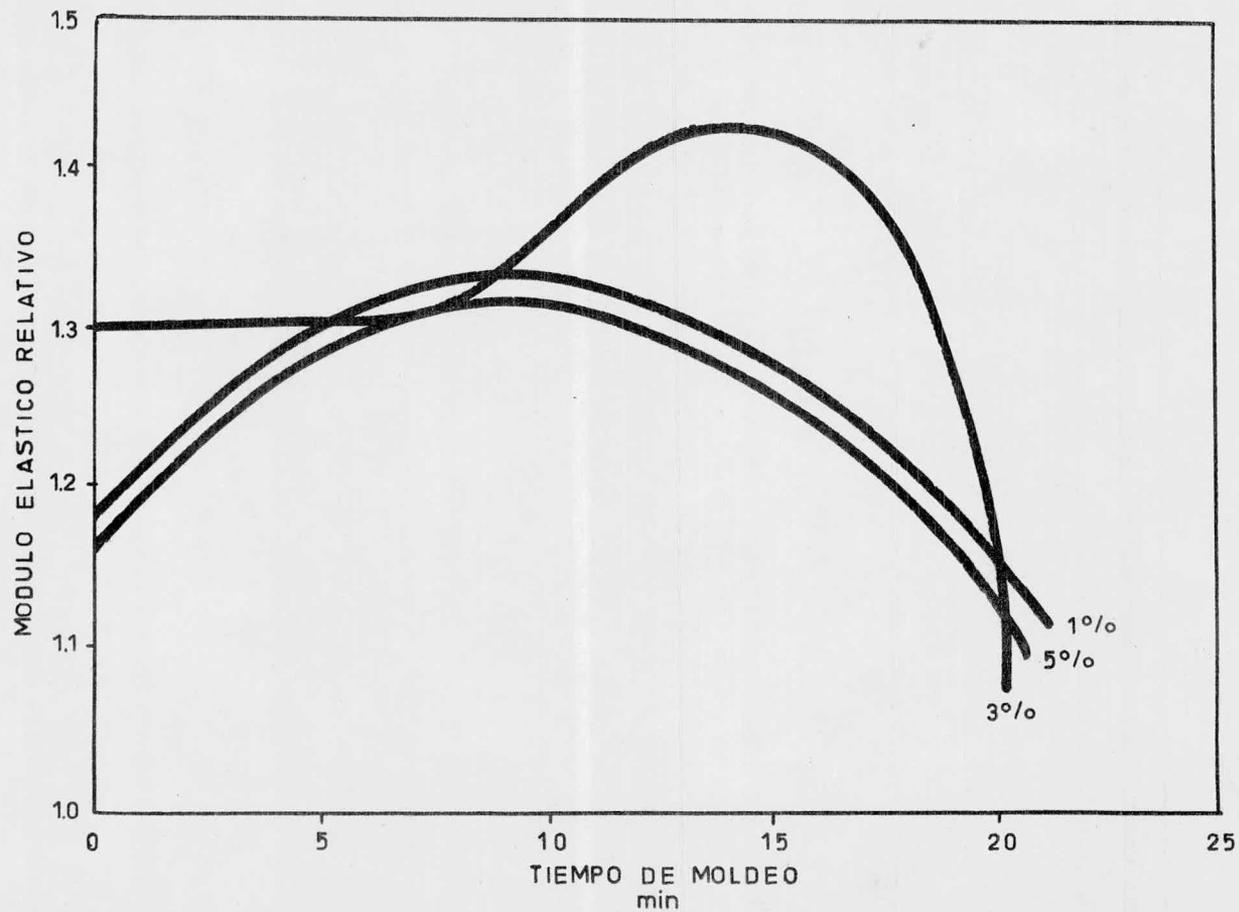


FIGURA 24. GRAFICA M.E.R.-TIEMPO DE MOLDEO DE POLIETILENO REFORZADO CON FIBRA DE NYLON

bién que la cantidad óptima de fibra se mantiene en 3%.

La pérdida de las propiedades mecánicas a tiempos de moldeo de veinte minutos requiere de discusión. En términos de viscosidad y tiempo de mojado, las propiedades deberían mantenerse constantes o aumentar a veinte minutos de moldeo. Sin embargo, en este lapso la fibra fluye durante el moldeo, hacia las paredes del molde. Esto disminuye el porcentaje de fibra en el centro de la muestra dando por resultado un material con poca fibra en el centro del mismo, por lo que se puede decir que no es un material con refuerzo distribuido apropiadamente y por consecuencia las propiedades mecánicas se abaten.

C O N C L U S I O N E S

El principal objetivo de este estudio consistió en obtener un plástico reforzado a partir de dos polímeros semicristalinos que tuviésemos mejores propiedades mecánicas que las de los materiales que lo constituyen. Este objetivo se cumple si analizamos los resultados proporcionados por las pruebas mecánicas de tensión que nos dicen que el esfuerzo a la tensión y el módulo elástico se incrementan al reforzar el polietileno con fibra de nylon. Estos resultados muestran que es difícil romper la unión polietileno-nylon debido a la interfase continua lograda con un moldeo adecuado que permite además, eliminar el aire ocluido en el polietileno reforzado durante el moldeo.

La matriz, polietileno de baja densidad, tiene las siguientes ventajas: bajo punto de fusión para disminuir la cantidad de calor, o sea, un costo menor de agente térmico, pues su temperatura de fusión es de 110°C , mientras que el de alta densidad tiene un punto de fusión de 135°C . Además, es más flexible que el de alta densidad por lo que su estructura cristalina al ser sometido a cargas, no afectan sus propiedades en menor grado que al de alta densidad.

La fibra de nylon tiene la siguiente ventaja

sobre el monofilamento y pellets de nylon y es el tipo de -
apresto que permite que el polietileno lo moje. El tipo de
apresto que dió mejores resultados fue el óxido de titanio
porque permite al polietileno fundido, mojar la fibra; mientr
tras que el sulfuro de molibdeno impide que el polietileno
moje a la fibra ya que su tensión superficial crítica tiene
una influencia definitiva en el coeficiente de fricción y -
por lo tanto, en el mojado del polímero.

El porcentaje de fibra y su diámetro tienen
importancia en las propiedades mecánicas del polietileno re
forzado ya que su módulo elástico alcanza un máximo para des
pués decaer por un exceso de fibra. Respecto al diámetro se
puede decir que sucede lo mismo porque a mayor diámetro de
fibra, mayor es la área lateral de la misma, es decir, en -
ambos casos no hay suficiente polietileno para cubrir toda
la fibra.

El tiempo de moldeo es un factor importante
para lograr una máxima adherencia entre la matriz y el re--
fuerzo ya que permite a la matriz, en estado líquido, fluya
más y aumente el mojado sobre la fibra, lo que incrementa -
la superficie de contacto real y por lo tanto una mejor dis
tribución de los esfuerzos de la matriz hacia el refuerzo,
o sea, se aumentará la eficiencia en la unión matriz-refuerz
o para la transmisión de esfuerzos.

La teoría de la difusión no explica el fenó
meno de adhesión en este caso en particular porque tanto --
las moléculas del adherente como del adhesivo no se difun--
den entre sí, es decir, el polietileno no se difunde en el

nylon. La teoría electrostática tampoco puede explicar la adhesión debido a que sólo es posible en adhesivos polares y en adherentes donadores de electrones, condiciones que no cumple el nylon, más no así, el polietileno; por lo que al no haber un receptor de electrones, la adhesión no se puede llevar a cabo. Por lo tanto, la adhesión entre polietileno y fibra se explica mejor por medio de la teoría de la adsorción ya que como se mencionó, la adhesión necesita de un contacto intermolecular en la interfase; contacto que se logra con condiciones adecuadas de moldeo que permitan que la presión aplicada obligue al polietileno fundido a entrar en contacto con la máxima cantidad de fibra.

Con el análisis de la influencia del diámetro y cantidad de fibra presente en la muestra, del recubrimiento o apresto del refuerzo y del tiempo de moldeo, se estudió indirectamente el grado de adhesión logrado en las diferentes muestras de polietileno reforzado, llegándose a la conclusión de que la eficiencia de la transmisión de esfuerzos de la matriz hacia el refuerzo, cuando ésta es sometida a cargas, aumenta al haber mayor área de contacto, es decir, mayor adhesión; cabe hacer la aclaración que cuando hay un exceso de fibra, las propiedades mecánicas disminuyen porque no hay suficiente polietileno capaz de mojar fibras, lo que permite a las dos fases se desplazan entre sí cuando el material reforzado se somete a cualquier tipo de carga. El apresto también juega un papel importante porque en algunos casos favorece la adhesión y en otros no, como sucedió con el monofilamento de nylon en donde su acción lubricante permite que el polietileno fundido resbale a lo largo de él sin mojarlo.

Una diferencia importante del polietileno reforzado, radica en la situación actual y la de años atrás, en que el polietileno tiene ahora un precio más bajo del que tenía en aquel entonces y la consecuencia es que el uso de este material resulta más económico no sólo desde el aspecto de su costo una vez instalado, sino también en función de su costo de producción. Otro tanto a sucedido con el material reforzante, nylon.

Por último, los esfuerzos de cedencia del polietileno reforzado con fibra de nylon y polietileno reforzado con fibra de vidrio son casi iguales. Esta semejanza - desde el punto de vista de costos, indica que es más económico usar fibra de nylon que fibra de vidrio (aunque el precio por kilogramo de fibra de nylon es mayor que el de fibra de vidrio) ya que existe una gran diferencia entre el porcentaje en peso de fibra de vidrio (19%) y el del de fibra de nylon (3%).

L I S T A D E
R E F E R E N C I A S

- 1) C. Winding. "Polymeric Materials", McGraw-Hill Book Company, New York, 1961. p. 6.
- 2) L. Rebenfeld. "Fibers" en H. F. Mark, N. G. Gaylord y N. M. Bikales, eds., Encyclopedia of Polymer Science and Technology, John Wiley and Sons, New York, 1967. Vol. 6. pp. 505-573.
- 3) F. R. Rojo Hurtado. "Propiedades de los Principales Termoplásticos usados en la Industria y sus Aplicaciones en función de dichas Propiedades", Tesis, Facultad de Química, UNAM, 1978. pp. 35-39.
- 4) A. Garrat. "Computadoras, los Plásticos en Perspectiva", Editorial Universitaria de Buenos Aires, 1966. pp 133-136.
- 5) E. Ariza Gazcón. "Plásticos Reforzados con Fibra de Vidrio para Servicios en Medios Corrosivos, en su Aspecto Económico", Tesis, Facultad de Química, UNAM, 1968. pp. 20-21.
- 6) F. Billmeyer. "Testbook of Polymer Science", John Wiley & Sons, New York, 1971. pp. 214-221 y 235-237.
- 7) J. Chávez Pérez. "Ejemplo de Aplicación del Plástico Reforzado en Ingeniería Química", Tesis, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, IPN, 1972. pp. 2, 39.

- 8) D. Cruz Mendoza. "Efectos de Altas Presiones en el Moldeo de Plásticos Reforzados", Tesis, Facultad de Química, UNAM, 1977. pp. 1-3.
- 9) R. J. Good, J. Adhesion. 8, (1), 1-2, (1976).
- 10) P. Hubbard. "Adherencia entre el Asfalto y los Agregados Pétreos en presencia del Agua", Apuntes del Instituto del Asfalto, USA, 1952. pp. 3-5.
- 11) S. S. Voyutskii. "Autohesion and Adhesion of High Polymers", John Wiley & Sons, New York, 1963. pp. - 121-147.
- 12) J. Wulff. "La Estructura y Propiedades de los Materiales" Editorial Limusa-Wiley S. A., México, 1968. Vol. III. pp. 13-15 y 18-19.
- 13) A. Padilla Ramirez y R. Vera Graziano, "Efecto de la Tensión Superficial Crítica de las Fibras de Vidrio en las Propiedades Mecánicas del Polietileno Reforzado", Memorias del IV Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería, A. C., Mérida Yucatán, Octubre de 1978. pp. 118-121.
- 14) W. A. Zisman y H. W. Fare, J. Colloid Sci, 7, 428, (1952).
- 15) V. Riveras Moras y R. Vera Graziano, "Diseño y Construcción de una Prensa para el Moldeo de Plásticos Reforzados a Altas Presiones y Temperaturas", Memorias del III Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería, A. C., Oaxtepec, Morelos, Septiembre de 1977. p. 432.
- 16) G. Briseño Jiménez. "Características y Parámetros para Aplicaciones Industriales del Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio", Tesis, Facultad de Química UNAM, 1970. p. 12.