

2 Ej. No. 59

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LA RESINA
POLIESTER REFORZADA CON PARTICULAS TERMOPLASTICAS**

T E S I S

ALFREDO MACIEL CERDA

INGENIERO QUIMICO

1 9 8 4



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

INDICE

1.0 INTRODUCCION Y OBJETIVOS	1
2.0 ANTECEDENTES	3
2.1 Plásticos Reforzados. Generalidades.	4
2.2 Desarrollo de los Poliesteres Reforzados.	4
3.0 FUNDAMENTOS TEORICOS	8
3.1 Características Mecánicas de los Plásticos Reforzados.	9
3.2 Ley de las Mezclas.	10
3.3 Refuerzos. Generalidades.	11
3.4 Elaboración de Plásticos Reforzados.	12
3.5 Resina Poliester. Generalidades.	13
3.6 Propiedades del Polietileno.	17
3.7 Adhesión.	18
4.0 PARTE EXPERIMENTAL	28
4.1 Diseño Experimental.	29
4.2 Materiales.	30

4.3 Preparación de Muestras.	41
4.4 Método de Prueba.	43
5.0 RESULTADOS Y DISCUSIONES	50
5.1 Resina Poliester - Monómero de Estireno.	51
5.2 Resina Poliester/Monómero de Estireno - Polietileno.	55
5.3 Grado de Adhesión.	75
5.4 Contracción de la Resina Poliester.	78
6.0 CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS	81
7.0 BIBLIOGRAFIA	83

1.0 INTRODUCCION Y OBJETIVOS

El presente trabajo está encausado al estudio de las propiedades mecánicas, de un material compuesto, el cual está formado por resina poliéster insaturada con monómero de estireno. Esta resina actúa como matriz del material compuesto. Se utiliza polietileno de baja densidad, en polvo, como refuerzo.

La finalidad de esta investigación, además de estudiar la interacción entre estos compuestos, es analizar la posibilidad de desarrollar materiales de interés comercial, dadas las carencias de dichos materiales en nuestro país. De aquí la idea de utilizar materias primas producidas en México, como son las resinas poliéster insaturadas, el monómero de estireno y el polietileno.

En este trabajo, se analiza el efecto del contenido de polietileno en las propiedades mecánicas a la tensión, flexión y tenacidad del material compuesto.

Además, considerando que los refuerzos granulares infieren una mayor estabilidad dimensional a los poliésteres reforzados, se realiza un análisis comparativo, de la contracción de la resina poliéster con monómero de estireno, para las distintas formulaciones antes y después de agregar el polietileno en polvo en diferentes porcentajes en peso.

Finalmente, dado que la transmisión, de esfuerzos mecánicos de la matriz al polietileno, depende de la existencia de una buena adherencia en la interfase, se realiza un breve estudio sobre la adhesión de la resina poliéster y el polietileno, a fin de explicar los resultados obtenidos en la caracterización mecánica de este material.

De aquí que los objetivos particulares de esta investigación sean:

- Definir la formulación, que presente las mejores propiedades

a tensión y/o flexión de la resina poliéster con monómero de estireno, variando los porcentajes en peso de ambos componentes y evaluando posteriormente sus propiedades mecánicas.

- Analizar el comportamiento mecánico a tensión, flexión y tenacidad de la resina poliéster insaturada, cuando se encuentra reforzada con polietileno en polvo y establecer ecuaciones de regresión, que representen los resultados experimentales obtenidos en las pruebas mecánicas.
- Determinar el grado de adhesión de la resina poliéster-monómero de estireno con el polietileno empleado a fin de contribuir a explicar los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos del material compuesto.

2.0 ANTECEDENTES

2.1 Plásticos Reforzados. Generalidades. 4

2.2 Desarrollo de los Poliesteres Reforzados. 4

2.0 ANTECEDENTES

2.1 PLÁSTICOS REFORZADOS. GENERALIDADES.

Por plásticos reforzados se entiende un material polimérico (compuesto heterogéneo) al cual se le modifican y mejoran algunas de sus propiedades por medio de la incorporación de uno o más elementos. Estos elementos son, por lo general, un refuerzo en forma de fibras, gránulos u hojuelas, que incrementan las propiedades mecánicas y la estabilidad dimensional del polímero. Por tanto, el plástico reforzado exhibe propiedades, que son el resultado de la contribución misma de la matriz polimérica y el material de refuerzo.

La función específica, de la resina polimérica, en este caso, es conservar compacto el material manteniendo fijo el refuerzo, protegiéndolo de la abrasión, los ataques químicos e intemperie y, además, actúa como el medio continuo de transmisión de esfuerzos. La función del refuerzo es incrementar las propiedades físicas y/o mecánicas de la matriz polimérica. Por tanto, es necesario lograr una buena adhesión entre ambas fases.

2.2 DESARROLLO DE LOS POLIESTERES REFORZADOS.

Los plásticos reforzados surgieron debido a la necesidad de superar las opciones, que ofrecían los materiales poliméricos existentes a principios del presente siglo. Los primeros plásticos reforzados fueron las resinas de fenol - formaldehído, empleando como refuerzo, papel, tela, madera o fibras naturales. Sin embargo, su desarrollo fué limitado debido a las altas condiciones de presión y temperatura de moldeado requeridas que hacían incosteable el proceso de fabricación (1).

Posteriormente, los estudios hechos por Carothers ⁽²⁾, en los años treinta, fijaron las bases de la química y tecnología moderna de los poliesteres, logrando por vez primera obtener un poliester con una estructura bien definida.

Al final de los años treinta, Bradley ^(3,4,5), reportó que los poliesteres pueden llegar a ser termofijos, insolubles e infusibles por las dobles - - ligaduras de insaturación en la cadena poliester. Aproximadamente al mismo tiempo, Ellis ⁽⁶⁾ descubrió que la rapidez de curado, de los poliesteres insaturados puede incrementarse en más de treinta veces si se encuentran presentes monómeros insaturados tales como estireno. Fué este descubrimiento el que formó el último lazo, que los encaminó a la aplicación comercial de los poliesteres insaturados en 1941.

El inicio de la segunda guerra mundial aceleró el desarrollo en el campo de los poliesteres reforzados, como en muchos otros campos de la investigación. En 1942, se descubrió la fibra de vidrio como refuerzo en las resinas tipo - poliester. Este fué el inicio del empleo, a gran escala, de los poliesteres insaturados. La primera aplicación satisfactoria fue su uso en los equipos de navegación aérea. Esto se derivó de la necesidad de fabricar recipientes protectores para los aparatos de radar, que permitieran un mínimo de interferencia en la transmisión y recepción, con la suficiente resistencia estructural.

Posteriormente los productores de resina se lanzaron a la búsqueda de nuevas materias primas para obtener diferentes propiedades en el polímero final, con el uso de nuevos alcoholes dihidricos, ácidos dibásicos saturados e insaturados y monómeros insaturados.

Inmediatamente después de la segunda guerra mundial, la producción por moldeo fué la más importante. Se fabricaron desde pequeñas partes eléctricas a artículos como mangos de cuchillo, hornos eléctricos, etc.

El mayor problema, en esta fase, fueron la contracción y rompimiento del material durante la reacción de polimerización, por lo cual se desarrollaron y evaluaron materiales, que se emplearon como cargas. Pronto aparecieron una gran cantidad de cargas con el objeto de reducir el encogimiento, mejorar la apariencia de la superficie, incrementar las propiedades físicas como resistencia al rompimiento, dureza, resistencia a la abrasión y mejorar también las propiedades eléctricas.

Sin embargo, los productos obtenidos eran quebradizos y no cumplían con los requerimientos mecánicos. Esto aceleró el desarrollo de los poliestéres reforzados con fibras. Las primeras cargas que fueron empleadas para los procesos de producción en masa, fueron de origen animal. En el proceso, las resinas, cargas, fibras y catalizadores se cargaban al mismo tiempo. Dicho proceso, empleado en 1947, no es muy diferente del que se emplea en la actualidad para obtener la mezcla, donde se usan fibras de vidrio, de asbesto y de sisal, obteniéndose productos para la industria automotriz, principalmente tapas para los sistemas de ignición y otros artículos similares.

A pesar del éxito obtenido en la construcción de equipo durante la guerra, no fue sino hasta 1952 que la resina poliéster logra un crecimiento acelerado. Esto se debió, en gran parte, al hecho de que fue hasta entonces que se alcanzó un grado aceptable desde el punto de vista de calidad y costos en el desarrollo de las técnicas de fabricación y mejores refuerzos para la resina.

A partir de esta fecha, los poliésteres reforzados han invadido el mercado con aplicaciones tan importantes, que debido a las excelentes propiedades mecánicas que presentan y la facilidad de fabricación que se pueden clasificar en las categorías siguientes: cascos para barcos (cuya popularidad ha crecido espectacularmente), transportes incluyendo piezas y carrocerías para automó

viles y cabinas de camión. Productos de consumo y decorativos; incluyendo artículos tan dispares como maletas, sillas, cañas de pescar, bandejas, tubos conductores. Aplicaciones en la construcción, principalmente en láminas y paneles. Aplicaciones para cohetes y cápsulas para radar.

3.0 FUNDAMENTOS TEORICOS

3.1	Características Mecánicas de los Plásticos Reforzados.	9
3.2	Ley de las Mezclas.	10
3.3	Refuerzos. Generalidades.	11
3.4	Elaboración de Plásticos Reforzados.	12
3.5	Resina Poliester. Generalidades.	13
3.5.1	Curado de la Resina Poliester.	13
3.5.2	Estabilidad de la Resina Poliester	16
3.5.3	Propiedades de la Resina Poliester.	17
3.6	Propiedades del Polietilenc.	17
3.7	Adhesión.	18
3.7.1	Generalidades.	18
3.7.2	Mojado y Tensión Superficial.	19
3.7.3	Area de Contacto.	20
3.7.4	Teorias de Adhesión.	22
3.7.5	Juntas Adhesivas.	25

3.0 FUNDAMENTOS TEORICOS

3.1 FACTORES QUE AFECTAN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LOS PLASTICOS REFORZADOS⁽⁷⁾

Las propiedades mecánicas, de los plásticos reforzados, pueden variarse en un amplio rango mediante la modificación de diferentes factores, como son, las condiciones del proceso, la cantidad y tipo de refuerzo, orientación y forma de éste, tipo de matriz y aditivos, modificación de la superficie por el aditivo.

Sin embargo, el principal factor, que determina las propiedades de un material compuesto determinado, es el grado de adhesión logrado entre ambas fases.

Un cálculo conservador de las fuerzas moleculares involucradas en la adhesión de polímeros con superficies sólidas conduce a fuerzas de cohesión muy superiores a aquellas, que se obtienen en la práctica^(8,9). Estas diferencias se explican por la existencia de pequeñas imperfecciones y el desarrollo de esfuerzos residuales en la interfase polímero adherente.

Estas imperfecciones se originan por una pobre humidificación en la superficie y/o capas de unión débiles. Los esfuerzos residuales son resultado de dos factores, la existencia de cambios diferenciales de volumen, que ocurren entre el polímero y el material de refuerzo y tienen lugar al llevar a cabo la reacción de curado y la diferente deformación, que experimentan los dos materiales cuando se sujetan a una carga externa. La falta de contacto interfasial se debe principalmente a que la resina, cuando se aplica, no alcanza a mojar completamente el refuerzo, lo cual genera imperfecciones.

Entre los principales métodos, usados comúnmente para minimizar las imperfecciones y los esfuerzos residuales, están la protección y limpieza de las superficies adherentes, adición de cargas para reducir la contracción de la

resina durante el curado y el uso de agentes para promover la adhesión. Ninguno de estos métodos es completamente efectivo.

Las investigaciones enfocadas al estudio del volumen específico^(10,11), de los polímeros amorfos, como una función de la presión y la temperatura, han mostrado que el cambio de volumen, del polímero al fundir, puede suprimirse por la aplicación de altas presiones; además, contribuyen a formar un contacto completo entre el polímero y el refuerzo. Mediante este proceso, se minimizan los esfuerzos interfaciales y los espacios vacíos en el polímero y en la interfase, optimizando así, las propiedades del material resultante.

3.2 LEY DE LAS MEZCLAS

En general, las propiedades del plástico reforzado es un promedio de las propiedades de la matriz y el refuerzo, es decir, es posible aplicar la ley de las mezclas para predecir las propiedades finales del material compuesto, siempre y cuando exista una buena adhesión entre las fases. Esta ley supone que las propiedades de las mezclas es una función aditiva de las mismas propiedades de los componentes, suposición que en muchos casos está lejos de ser cierta. Si $A_1, A_2, \text{etc.}$, es la propiedad física en cuestión por unidad de peso y, si los pesos son $W_1, W_2, \text{etc.}$, respectivamente, entonces para un peso W de la mezcla⁽¹⁷⁾

$$WA = W_1 A_1 + W_2 A_2 + \dots + W_n A_n \quad (1)$$

Así por ejemplo, el módulo elástico del material compuesto E_c , está dado por:

$$E_c = E_r V_r + E_m V_m \quad (2)$$

donde E_r y E_m , son el módulo elástico y la matriz respectivamente y V_r y V_m , la fracción en volumen del refuerzo y la matriz.

Considerando que

$$V_r + V_m = 1 \quad \dots(3)$$

La ecuación (2) puede ser escrita entonces en términos de contenido de refuerzo en el material.

$$E_c = V_r(E_r - E_m) + E_m \quad \dots(4)$$

3.3 REFUERZOS EMPLEADOS. GENERALIDADES⁽¹²⁾

Los refuerzos, usualmente empleados, se dividen, de acuerdo a su forma y dimensiones, en granulares y fibrosos.

Refuerzos granulares.- En su mayoría están constituidos por materiales inorgánicos, de pequeñas dimensiones y formas diversas, que van desde pequeñas - esferas hasta hojuelas y gránulos de geometrías caprichosas

Las propiedades, que mejoran con los refuerzos granulares, son muy diversas. Una de ellas es la estabilidad dimensional, ya que disminuye la contracción de la resina durante el curado. Esta contracción se presenta generalmente en un porcentaje de 0.4 a 0.8 en volumen⁽¹⁴⁾, dependiendo de los productos químicos empleados en la reacción y la densidad de entrecruzamiento. Contracciones de este orden, son suficientes para crear, en el material, esfuerzos internos que debilitan sensiblemente sus propiedades.

El tamaño de este tipo de refuerzos es un factor de gran importancia y debe estar comprendido entre 1 y 5 micras para tener una mejor continuidad entre las fases y mayor área de contacto.

Refuerzos fibrosos^(12,13).- Estos refuerzos se emplean principalmente en laminados y tienen la característica de absorber la mayor parte de los esfuerzos en el material e impedir la propagación de fracturas en el polímero.

Hoy en día, los refuerzos fibrosos son los más versátiles y comerciales por la variedad de materiales, en que se emplean; bajo costo, eficiencia y disponibilidad; propiedades que los han llevado a ser el refuerzo más empleado. - Dentro del tipo de fibras, que se utilizan con mayor frecuencia, se encuentran: fibras de asbesto, fibras celulósicas, (como algodón, yute, sisal, etcétera.); fibras cerámicas, fibras de vidrio, fibras sintéticas, (como nylon, dacrón, orlón, alcohol polivinílico), fibras de carbono y grafito, entre otros.

Uno de los factores importantes, en el uso de estos refuerzos, es la orientación o disposición que tienen dentro del material compuesto.

La orientación, de las fibras empleadas, es un factor muy importante ya que su efecto es determinante en las propiedades mecánicas finales del polímero reforzado.

En general, los refuerzos se emplean monoorientados, biorientados, o bien, dispuestos al azar dependiendo del uso o aplicación que le sea asignada al plástico reforzado.

3.4 ELABORACION DE PLASTICOS REFORZADOS⁽¹³⁾

El objetivo final o comercial de los polímeros es tomar una forma específica que satisfaga necesidades concretas. La tecnología para convertir los polímeros en una gran variedad de artículos con diversos contornos, requiere de una ingeniosa serie de procesos que constituyen el eje, que mueve la enorme industria de los polímeros. Así, la fabricación de los artículos de plástico reforzado se divide usualmente en procesos de moldeo abierto y moldeo cerrado.

El proceso de moldeo abierto es el más simple. Se utiliza un solo molde, sea este macho o hembra. El material de refuerzo se coloca en el interior del mol

de, se impregna con resina y se deja curar al aire libre. Este proceso implica que exista un mejor acabado en una de las caras.

Otros ejemplos de procesos por moldeo abierto son: el moldeo por aspersión, embobinado, vaciado centrífugo, filamento dirigido, etc.

El moldeo cerrado permite altas producciones en serie y su costo de operación es menor que el abierto debido a la rapidez de producción, a un mínimo de desperdicios, al excelente acabado en toda la superficie, a la excelente reproducción en el tamaño y espesor de las piezas, etc.

El moldeo cerrado comprende los métodos a presión y temperatura con preforma, colchoneta preimpregnada, petatillo preimpregnado, premezcla, además moldeo por inyección y laminado continuo con rodillos y horno para un curado rápido.

3.5 RESINA POLIESTER. GENERALIDADES

3.5.1 CURADO DE LA RESINA POLIESTER

Las reacciones de polimerización o curado, mediante las cuales la resina poliéster en estado líquido pasa a ser un sólido, se pueden lograr de distintas maneras. Los métodos más conocidos, para iniciar la reacción de polimerización, son: por medio de calor, por el uso de radiación de alta frecuencia o microondas y por el empleo de iniciadores y catalizadores químicos.

Este último método es el más usual y se emplea en este trabajo. Consiste en la descomposición del iniciador a temperatura prácticamente ambiente, que provoca la activación del monómero.

Los compuestos químicos se descomponen activando el monómero contenido en la resina (usualmente estireno, metacrilato de metilo, etc.), originando una

reacción con los grupos no saturados de la cadena del poliéster, obteniéndose así, un producto sólido termofijo. Aunque este tipo de compuestos se denomina con el término de "catalizadores", no pueden considerarse como tales desde el punto de vista químico ya que se descomponen. A diferencia de un verdadero catalizador, no son recuperables al final de la reacción, por lo que se les conoce con el nombre genérico de "iniciadores".

Para lograr el curado de la resina poliéster, sin aplicarle calor, es necesario usar un promotor o acelerador para descomponer rápidamente el iniciador y con esto, incrementar la velocidad de reacción.

Para elegir el sistema acelerador-catalizador adecuado debe considerarse, entre otros, el uso final del artículo fabricado y la temperatura de curado. A continuación se dan las combinaciones más empleadas: (20,13)

Catalizador	Promotor
PMEK (peróxido de metil-etil cetona) - - -	Naftenato de cobalto u octoato de cobalto
Peróxido de ciclohexanona - - -	Naftenato de cobalto u octoato de cobalto
Hidroperóxido de cumeno - - -	Naftenato de manganeso
Peróxido de benzoílo - - -	Dimetil anilina

Las propiedades finales, de la resina poliéster, se ven afectadas por las condiciones en que se lleve a cabo la catálisis de curado. Los productos que se curan demasiado rápido no favorecen la unión lineal entre sí, de la cadena poliéster, lo que puede aumentar las propiedades mecánicas finales de la resina poliéster. Por lo general, estos productos son más quebradizos, que los obtenidos con una catálisis más lenta. Una reacción muy rápida puede generar cantidades muy altas de calor a tal nivel, que el equipo de enfriamiento lle

ga a ser insuficiente para eliminarlo y esto no permite un control de temperatura adecuado, con sus consecuencias inherentes.

Dado que una característica valiosa de los poliésteres es la rapidez de curado, debe buscarse una concentración óptima de iniciador y acelerador para obtener las mejores propiedades del producto final, para lo cual, al formular, se deben considerar los siguientes factores que afectan el tiempo de gelado⁽¹³⁾.

Cantidad de catalizador.- El tiempo de gelado aumenta o disminuye inversamente proporcional a la cantidad de catalizador.

Cantidad de acelerador.- La cantidad de acelerador influye de la misma manera que el catalizador. A mayor cantidad de acelerador, menor el tiempo de gelado y viceversa, dado que su función es descomponer el catalizador.

Temperatura :- La temperatura como en todas las reacciones químicas, influye en el tiempo de curado. A mayor temperatura menor el tiempo de curado y viceversa.

Concentración o masa de resina.- El calor generado en la reacción de curado, que no se libera, autoacelera la reacción y cuando la cantidad de resina es grande, se conserva más el calor incrementando la reacción de entrecruzamiento.

Evaporación de monómeros .- Los monómeros o agentes de enlace reticular, son de suma importancia en el curado de la resina poliéster, ya que en algunos casos imparten reactividad y casi siempre son necesarios para una polimerización adecuada, por lo que debe evitarse la evaporación de monómero y mantener su concentración relativamente constante durante el proceso de curado.

Cargas.- Una gran mayoría de cargas o rellenos tienden a aumentar el

tiempo de gelado. Este aumento puede estar ocasionado por la carga y por su contenido de humedad o impurezas y valor ácido.

Inhibidores.- Pequeñas cantidades de compuestos químicos pueden ocasionar un curado incompleto de la resina poliéster, como las resinas fenol-formaldehído, hule natural, cobre y sus sales y azufre, los cuales se usan para aumentar el tiempo de almacenamiento de la resina, se deben neutralizar antes de efectuar la reacción de curado. El azufre se emplea en la vulcanización del hule, por lo que no se deben emplear moldes a base de hule vulcanizado, para la fabricación de piezas.

3.5.2 ESTABILIDAD DE LA RESINA POLIÉSTER^(20,6)

Las soluciones de resina poliéster en estireno, son inestables tendiendo al gelado en almacenamiento. Por lo cual, los manufactureros de resinas agregan inhibidores o estabilizadores, que reaccionan con los radicales libres ocasionados por el calor, la contaminación y otros factores evitando, de esta manera, el entrecruzado prematuro de la resina. Existen en general, tres grupos de inhibidores:

De actividad constante.- Reaccionan con los radicales libres sin importar la temperatura de almacenamiento, tal como la hidroquinona.

Sensibles al calor.- A temperaturas normales de almacenamiento reaccionan con los radicales libres y descomponen a temperaturas superiores sin actuar ya como inhibidores. Ejm.: Terbutil catecol.

Inhibidores-catalizadores.- Aquellos que reaccionan con los radicales libres en almacenamiento. Al ponerlos en contacto con los catalizadores contribuyen a la descomposición de éstos actuando, entonces, como aceleradores. Las sales cuaternarias de amonio se encuentran en este grupo.

3.5.3. PROPIEDADES DE LA RESINA POLIESTER^(15,16)

Las resinas poliéster presentan notables propiedades que las han llevado a ser materiales de gran valor, en general, en el campo de los plásticos reforzados. Entre estas propiedades aludimos a una alta resistencia mecánica; su relación resistencia/peso, superior a muchos metales; no presentan corrosión en cualquier condición ambiental; tienen una baja conductividad térmica; una excelente resistencia eléctrica y, además, son fácilmente moldeables.

Tienen, también, propiedades que han limitado su uso, tales como, pobre resistencia al uso y a la abrasión; poca resistencia bajo esfuerzos repetidos; presenta comportamiento frágil o quebradizo; durante el curado sufre encogimiento y esto contribuye a la generación de esfuerzos residuales.

Como se puede observar, las limitantes de la resina poliéster son suficientes para originar la búsqueda de diferentes tipos de refuerzo con el objeto de conseguir cada vez mejores características técnicas en dicha resina.

3.6 PROPIEDADES DEL POLIETILENO^(23,16)

El polietileno, en la actualidad, puede producirse por muchos procesos. Cada uno proporciona resinas con diferentes propiedades y usos finales.

Generalmente se dividen en dos tipos específicos. Un polietileno convencional ramificado de baja densidad y un polietileno lineal de alta densidad.

Las propiedades del polietileno también varían con el peso molecular promedio y la distribución de pesos moleculares.

Sumarizando, las propiedades notables del polietileno, que le permiten ser el líder mundial en consumo entre los plásticos, son:

- Bajo costo
- Fácilmente termomoldeables en varios contornos y formas
- buenas propiedades mecánicas combinadas, como resistencia a la flexión y tenacidad.
- Excelente resistencia eléctrica
- Alta resistencia a la mayoría de los solventes y sustancias químicas
- Amplio rango de módulos; desde película altamente flexibles hasta formas rígidas moldeadas
- Insípidos e inodoros
- Buena resistencia al agua

3.7 ADHESION

3.7.1 GENERALIDADES

El fenómeno de adhesión es el proceso mediante el cual dos superficies se unen, pudiendo ser la unión sin adhesivos entre dos superficies de igual composición (cohesión), o entre dos o más superficies diferentes (adhesión), donde se incluye un adhesivo.

Las sustancias empleadas inicialmente, para la adhesión de dos superficies, fueron de origen natural, tanto animal como vegetal.

La necesidad de contar con mejores adhesivos, ha llevado a la observación y estudio de este fenómeno complejo de adhesión como es el caso de dos placas de vidrio húmedas. Sin embargo, una junta de este tipo presenta la limitación de que, aún cuando exhibe una considerable resistencia a un esfuerzo de tensión perpendicular al plano de la superficie, su resistencia es pobre bajo esfuerzo cortante en virtud de la movilidad relativa del líquido intermedio, por lo cual, la viscosidad de la película adhesiva es un factor crítico. Este

fenómeno originó la idea de mejorar la unión adhesiva mediante la posterior solidificación del líquido.

Actualmente se utilizan tres métodos fundamentales para la solidificación de los adhesivos⁽¹²⁾: por evaporación de solvente, por reacción química y por enfriamiento y solidificación de un líquido.

Existen factores importantes en la eficiencia de la junta adhesiva, como son, el mojado y la deformabilidad.

Ciertos líquidos presentan el "mojado" en determinadas superficies, es decir, cuando los líquidos se extienden espontáneamente sobre un sustrato, se dice que los líquidos mojan el sustrato. Los líquidos que mejor mojan un adherente determinado, son los que proporcionan juntas más eficientes. Otro factor importante es el efecto del área de contacto real que se comentará posteriormente. Además, el fenómeno del mojado está íntimamente relacionado con las propiedades de superficie, como es, la tensión superficial, de la que se habla más adelante.

Respecto a la deformabilidad, se ha observado que se logran mejores juntas adhesivas cuando el adhesivo ya solidificado, tiene la capacidad de experimentar deformaciones plásticas, que ayuden a tomar la forma de la interfase, es decir, cuando es capaz de relajar esfuerzos originados durante su solidificación.

3.7.2 MOJADO Y TENSION SUPERFICIAL

Tensión superficial es el nombre dado al fenómeno, que antiguamente originó la idea de que los líquidos poseen una especie de piel que les ayuda a mantener su forma (por ejemplo una gota de agua). Esto es el resultado de una energía que atrae a las moléculas de la superficie del líquido hacia el interior y paralelamente a la superficie. A diferencia de las moléculas del interior en donde son atraídas en todas direcciones y la resultante de las fuerzas que actúan es cero, en la superficie las fuerzas laterales se ven equi-

libradas, las que jala al interior no. De aquí resulta una fuerza neta, hacia el interior, que actúa sobre cada molécula de la superficie. Por, esto se espera que un líquido con menor tensión superficial proporcionará un mejor mojado y con ello se propicie una mejor adhesión, dado que logra más contacto entre las superficies adherentes.

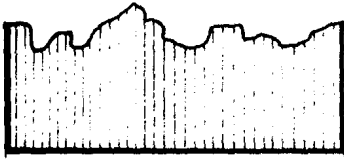
Si consideramos una gota de líquido descansando sobre la superficie lisa de un sólido y observamos el ángulo de contacto o sea el ángulo que forma la tangente a la curva del líquido en el punto de contacto con el sólido (representado por θ), se establece que cuando $\theta = 180^\circ$, el líquido no se extiende sobre el sólido y se dice que no lo moja; en contraste, si $\theta = 0^\circ$ el líquido se extiende espontáneamente formando una delgada película sobre el sólido y se dice que lo moja completamente. Si $\theta = 180^\circ$, implica que el líquido moja al sólido en cierto grado, o sea, que hay cierta adhesión entre ambas fases.

En virtud de que la tendencia de un líquido, a extenderse sobre una superficie, se incrementa conforme θ disminuye, el ángulo de contacto ha sido por muchos años una útil medida del mojado.

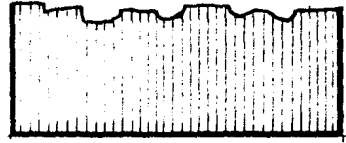
3.7.3 AREA DE CONTACTO^(19,12)

Si observamos con la amplificación adecuada la superficie plana y pulida de un cuerpo (por ejemplo una placa de acero), encontramos que lo que percibíamos como liso, es en realidad una superficie rugosa con valles, abismos y crestas cuyas longitudes y depresiones exhiben longitudes de cientos y hasta de miles de Angstroms, según el grado de pulido, como puede verse esquemáticamente en la figura (1)

De tal forma que, cuando dos sólidos se ponen en contacto, aún cuando sus su-



a



b

FIG (1) VISTA AMPLIFICADA DE UNA SUPERFICIE APARENTEMENTE LISA. ANTES DE PULIR (a) Y DESPUES DE PULIR (b).
NOTESE QUE NO SE LOGRA ALLANAR LA SUPERFICIE COMPLETAMENTE.

perfiles hayan sido esmeradamente lijadas y pulidas, los puntos reales de contacto son muy escasos. Por ejemplo, para dos superficies de acero, bajo una carga de diez kilogramos, se encontró por mediciones conductométricas al friccionarlos, que el área real de contacto era el 1% del área aparente.

En base a esto, las superficies se han clasificado en tres tipos:

- Superficies no porosas pero rugosas
- Superficies porosas, con cavidades cuyas dimensiones van de submicroscópicas a macroscópicas
- Estructuras abiertas de tipo fibroso

En donde existen además, casos intermedios y combinados

Con fines prácticos Wenzel ha definido un coeficiente de rugosidad como:

$$r = \frac{A}{a}$$

En donde A es el área real superficial y a el área aparente o geométrica del sólido considerado. En este caso r es siempre mayor que la unidad.

De hecho, la función de un adhesivo, al aplicarse en estado líquido, es llenar lo mejor posible el espacio entre dos sólidos a unir y constituir un punte entre ambas superficies. Es aquí donde la viscosidad del adhesivo es un factor importante para llenar las cavidades y rugosidades de la superficie, por lo que debe buscarse un balance exacto entre la viscosidad del adhesivo y los sólidos que contiene.

3.7.4 TEORIAS DE LA ADHESION

La adhesión, como fenómeno complejo, se presenta por diferentes mecanismos. E-

xisten varias teorías para explicarlo : la teoría de adsorción, la teoría de difusión y la teoría electrostática⁽¹⁹⁾.

La teoría de la adsorción describe el fenómeno de adhesión como un proceso puramente interfásial, en la que la superficie del sustrato adsorbe segmentos de moléculas del adhesivo. La adsorción, que se lleva a cabo, es únicamente física y la resistencia de la unión depende de la interacción de las fuerzas moleculares secundarias (fuerzas de Van der Waals, de London, de dispersión, etc.).

La teoría electrostática está basada en el fenómeno de electrificación por contacto, que ocurre al estar en interacción dos dieléctricos o bien un metal y un dieléctrico, el cual se manifiesta bajo condiciones definidas en forma de una ruptura luminiscente cuando se separa el adhesivo del sustrato. Esta teoría compara el sistema adhesivo con un condensador. La doble capa eléctrica, producida por el contacto entre las dos fases, es comparada con las capas del condensador; de tal forma que al separar el adhesivo del sustrato, (lo cual equivale a separar las placas del condensador) se establece una diferencia de potencial, cuya magnitud se incrementa con el aumento en la distancia de separación entre las dos superficies hasta un límite definido en el cual sucede la descarga (ruptura). La doble capa eléctrica puede formarse mediante dos mecanismos: el primero como resultado de la adsorción y orientación de grupos polares de la molécula de adhesivo en la superficie del sustrato, de tal forma, que la orientación de moléculas del adhesivo permita la formación del llamado potencial de adsorción el cual depende, en esencia, de la naturaleza y estructura de las moléculas en la capa de adsorción. Este potencial puede alcanzar valores de varios cientos de milivolts y, en el caso de moléculas con grupos polares tales como hidroxilos, carboxilos, aminos entre otros, el potencial alcanzado es especialmente grande e importante. El segun-

do mecanismo de la formación de la doble capa eléctrica, establece que ésta se puede formar debido a la transición de electrones libres moviéndose a través de la fase sólida del sustrato. Este último mecanismo ha sido empleado con cierto éxito para explicar, esencialmente, la adhesión de polímeros sobre metales.

Por su parte, la teoría de la difusión en la adhesión, se ha aplicado solamente a la adhesión entre polímeros, así como a la autohesión (cohesión) entre ellos. Se reduce a considerar que la difusión de largas cadenas de moléculas o la de sus segmentos individuales dan, como resultado, una fuerte unión entre el sustrato y el adhesivo. Esta teoría está basada prácticamente en la consideración de la estructura y flexibilidad de las cadenas poliméricas, así como en la facilidad de exhibir movimientos macrobrownianos.

Las teorías descritas anteriormente, pueden usarse para discutir el tipo de adhesión, que se espera en la resina poliéster y el polietileno. La teoría de difusión no es aplicable en este caso, ya que sólo funciona cuando el adhesivo y el adherente difunden entre sí. Tampoco puede explicarse mediante la teoría electrostática ya que no es aplicable a adhesivos no polares, como es el caso del polietileno, el cual es incapaz de donar electrones para formar la doble capa eléctrica.

Por tanto, se espera que la adhesión se presente como un fenómeno de adsorción dado que sólo requiere la existencia de un buen contacto intermolecular en la interfase, ya que las fuerzas secundarias, que se generan independientemente de la naturaleza química de las fases en contacto, a pequeñas distancias intermoleculares, son suficientemente fuertes para lograr una buena adhesión.

3.7.4 JUNTAS ADHESIVAS

El método de las juntas adhesivas es empleado frecuentemente para probar la fuerza de unión, sustrato adhesivo, principalmente por su facilidad de uso.

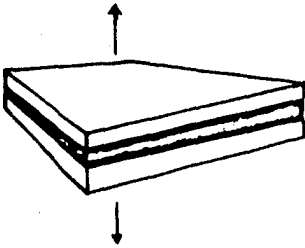
Quiénes emplean las juntas adhesivas, deben preocuparse, básicamente, por el diseño de las mismas. Se les recomienda tener en cuenta dos factores ⁽²¹⁾: el área de unión y la geometría de la junta.

El área de unión.- Los esfuerzos, aplicados en uniones estructurales, pueden ser: por tensión, por deslizamiento o esfuerzo cortante, por desdoblamiento y por desprendimiento.

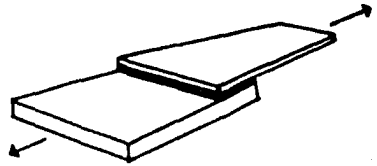
En caso de carga por tensión, las fuerzas son perpendiculares al plano de la junta y se distribuyen sobre toda el área. La junta completa está bajo carga al mismo tiempo y todo el adhesivo trabaja en el mismo momento. Ninguna porción de la junta lleva mayor o menor cantidad de la carga aplicada.

En carga por deslizamiento o esfuerzo cortante, el esfuerzo se distribuye - también uniformemente sobre la cantidad total de la junta y todo el adhesivo trabaja en el mismo instante. En carga por deslizamiento, el esfuerzo es paralelo al plano de la junta. Este tipo de juntas se usa frecuentemente porque es más práctico de efectuar.

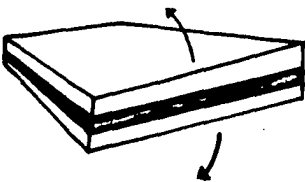
La carga por desdoblamiento implica diferente distribución de esfuerzos y no trabaja el adhesivo en su totalidad al mismo tiempo. Conforme se aplica la fuerza, un lado de la junta está bajo un gran esfuerzo, mientras que la otra está sin carga por completo. Este tipo de junta no puede ser tan fuerte como una junta de área comparable, en carga a tensión o deslizamiento y, en algunos casos, se trata de evitar.



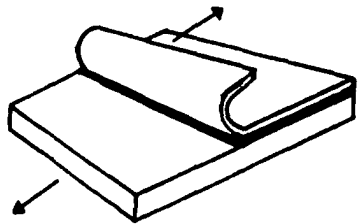
CARGA POR TENSION



CARGA POR DESLIZAMIENTO
O ESFUERZO CORTANTE.



CARGA POR DESDOBLAMIENTO



CARGA POR DESPRENDIMIENTO

FIG. (2) DIFERENTES TIPOS DE JUNTAS ADHESIVAS -
QUE SE ENCUENTRAN EN UNIONES ESTRUCTU-
RALES.

En carga por desprendimiento, el esfuerzo se limita a una línea muy fina, a los límites de la junta. En este caso, igualmente una mínima parte del adhesivo contribuye al esfuerzo. La mayor parte permanece sin carga y sólo una porción del adhesivo está trabajando. Al igual que en la anterior, se limita su uso a algunos materiales. Todo este tipo de juntas se muestra en la fig(2).

Por lo que respecta al diseño o geometría de la junta, encontramos que es, - generalmente, más complicado; ya que, como se indicó anteriormente, rara vez una junta se sujeta a un solo tipo de esfuerzo. En algunos casos, la distorsión, de los adherentes bajo carga, va a introducir esfuerzos secundarios. En estos casos, se hace más importante el uso de juntas con geometrías que favorezcan la parte medular de la prueba de nuestro interés.

4.0 PARTE EXPERIMENTAL

4.1	Diseño Experimental	24
4.2	Materiales	30
4.3	Preparación de Muestras	41
4.3.1	Muestras Resina Poliester/Monómero de Estireno	41
4.3.2	Muestras Para el Sistema Resina Poliester/Monómero de Estireno-Polietileno	41
4.3.3	Muestras Para Determinar la Contracción de la Resina Poliester	42
4.3.4	Preparación de Juntas Adhesivas	42
4.3.5	Muestras Para Determinación de Angulos de Contacto	43
4.4	Método de Prueba	43
4.4.1	Pruebas Mecánicas	43
4.4.2	Pruebas de Adhesión	45
4.4.3	Contracción de la Resina Poliester	49

4.0 PARTE EXPERIMENTAL

4.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

Los objetivos del presente trabajo están encaminados a la búsqueda de refuerzos, que contribuyan a superar las deficiencias técnicas de la resina poliester. En este desarrollo experimental, se emplea un material rígido, como lo es la resina poliester y se intenta reforzarla con polvo de polietileno, que posee propiedades mecánicas, físicas y químicas diferentes a la resina mencionada. Se espera que ambas propiedades se conjunten para obtener, al final, un material que posea las características de los dos componentes y, así, modificar las propiedades deficientes de la resina poliester, básicamente, su poca resistencia bajo esfuerzos repetidos, su comportamiento frágil o quebradizo, reducir las contracciones durante el curado y, con ello, evitar la generación de esfuerzos residuales.

Las propiedades sobresalientes del polietileno, que pueden mejorar o complementar el sistema, son: alta capacidad de absorción de esfuerzos (tenacidad, la cual se obtiene experimentalmente en este trabajo), gran flexibilidad, excelente resistencia a la mayoría de los solventes y sustancias químicas, además, el polietileno es un material de poco peso.

El trabajo experimental se inicia con el estudio del comportamiento mecánico, a la tensión y flexión, de la resina poliester entrecruzada con monómero de estireno en diferentes proporciones. Estas formulaciones poliester-monómero de estireno son modificadas con diferentes proporciones de polietileno en polvo y se analiza su efecto en estas mismas propiedades mecánicas de tensión, flexión y tenacidad.

Además, se realiza un breve estudio de la adhesión de la resina poliester con

polietileno, empleándose dos métodos diferentes, como son, el análisis mecánico de la juntas adhesivas y determinación de ángulos de contacto entre placas de polietileno (PE) y la resina poliéster. En el caso de juntas adhesivas, se emplean las que presentan mayores facilidades de manufactura y de prueba, o sea, las juntas traslapadas y por desprendimiento.

Finalmente, se realizó un estudio sobre el efecto del contenido de PE, en la resina poliéster sobre la contracción, al curar esta resina.

4.2 MATERIALES

Los materiales, empleados en este trabajo, son: resina poliéster, monómero de estireno, peróxido de metil-etil-cetona como catalizador, naftenato de cobalto como acelerador y polietileno en polvo que se usó como refuerzo. Tienen las siguientes características:

Resina poliéster.- La resina empleada es polylite 8016. Se trata de una resina de uso general de Reichhold Química de México, S.A., con densidad media de 1.14 g/cm^3 y una viscosidad de 4850 centipoises determinada en un viscosímetro Brookfield a la temperatura de 20°C . En la figura (3) se muestra el espectro infrarrojo de la resina, que se obtuvo en un espectrofotómetro Perkin Elmer modelo 283, usando aire como referencia y celdas de bromuro de plata.

El espectro de la resina poliéster presenta las bandas de absorción características que se describen a continuación⁽²²⁾.

La absorción del grupo carbonilo origina una banda intensa a 1735 cm^{-1} . A 1350 y 1075 cm^{-1} , existe absorción correspondiente al grupo ArCOO . El grupo fenilo se caracteriza por presentar dos bandas anchas entre 1800 y 1950 . En

este caso, se observa solamente la de 1950 cm^{-1} , ya que la otra debe estar corrida hacia la banda de absorción del grupo carbonilo. También presenta otra banda a 750 cm^{-1} , que corresponde a un benceno disustituido.

Por parte del grupo insaturado, se observan las bandas características, para estos, entre 3000 y 3080 cm^{-1} . En este espectro, se observa que la forma *trans* del derivado del ácido maléico predomina sobre la forma *cis*, dado que existen dos bandas a 1675 y 965 cm^{-1} .

Estireno.- El estireno empleado, es grado comercial, con densidad de 0.9008 g/cm^3 . En la figura (4) se muestra el espectro infrarrojo de este material, usando aire como referencia, celdas de bromuro de plata y el espectrofotómetro Perkin-Elmer 283.

El estireno presenta características de absorción para un benceno monosustituido y para alquenos. Las bandas características para benceno monosustituido son; cuatro de baja intensidad entre 1750 y 1950 cm^{-1} ; aparecen dos más, posteriormente, para corroborar esta característica entre 700 y 750 cm^{-1} , donde aparecen dos bandas de gran intensidad.

La parte correspondiente a alquenos, de la molécula, presentan las bandas de intensidad media a 2975 cm^{-1} , que corresponden a $\text{CH}=\text{}$. Los picos, entre 3000 y 3100 cm^{-1} , corresponden a carbono-hidrógeno del tipo $\text{Ar-CH}=\text{}$. En el número de onda 1645 cm^{-1} se encuentra la banda característica para $\text{C}=\text{C}$.

El pico, que aparece a 1820 cm^{-1} , corresponde a una de las bandas de identificación de benceno monosustituido y también corresponde a una unión C-H de alqueno fuera del plano. La unión de ambas absorciones origina la ampliación de este pico. Las bandas localizadas en 990 y 910 cm^{-1} corresponden a C-H fuera del plano.

En el número de onda de 1420 cm^{-1} , se presenta una banda de absorción correspondiente a la unión C-H en el mismo plano.

Catalizador .- Se utilizó una solución grado comercial de peróxido de metil-etil-cetona siendo el ftalato de dimetilo el solvente. La densidad de la solución es 1.125 g/cm^3 . En la figura (5) se muestra el espectro infrarrojo de esta solución empleando aire como referencia y celdas de bromuro de plata, se empleó el espectrofotómetro Nicolet MX-5.

El espectro infrarrojo muestra las características de absorción de la solución empleada como catalizador. Dicho espectro presenta un pico intenso, a 3385 cm^{-1} , que corresponde a OH, seguramente debido a la descomposición del catalizador.

Los picos a 2880 y 2953 cm^{-1} , corresponden a CH saturado de alargamiento. Para el caso de CH_3 aparece una banda muy característica a 1375 cm^{-1} . La banda a 1435 y 1452 cm^{-1} , pertenecen a los grupos CH_3 y CH_2 , respectivamente.

A la longitud de onda, de 1728 cm^{-1} , aparece la banda característica para el grupo carbonilo (C=O de alargamiento).

A 893 cm^{-1} aparece una banda que corresponde a la unión C-O-O-C de peróxidos alifáticos.

La banda a 1298 cm^{-1} corresponde a C-O de alargamiento (éster), la cual se debe a la presencia del ftalato de dimetilo. Posteriormente aparece una banda a 748 cm^{-1} , que corresponde a la aromaticidad de este grupo para benceno disustituido.

Los picos comprendidos entre 1055 y 1132 , corresponden a C-O de alargamiento (ác. carboxílicos y éster).

Acelerador.- Se empleó naftenato de cobalto en solución con gas nafta al 6%, que es su presentación grado comercial, con una densidad de 0.936 g/cm^3 . El espectro infrarrojo de este material se presenta en la figura (6) tomando el aire como referencia y celdas de bromuro de plata. Se empleó el espectrofotómetro Nicolet MX-5.

El proceso de absorción, para la solución de naftenato de cobalto, presenta las siguientes bandas características:

Entre 2840 y 2950 cm^{-1} aparecen las bandas correspondientes a C-H de metilo y metileno (saturados). La banda de absorción, a 1377 y 1450 cm^{-1} , corresponde también, respectivamente, a metilo y metileno. A 750 cm^{-1} aparece un pico debido a la presencia de una cadena de metileno mayor o igual a cuatro.

A 1705 cm^{-1} aparece el pico correspondiente al grupo carbonilo del naftenato. A 1410 cm^{-1} se presenta absorción debido a C-O de alargamiento de este compuesto.

Polietileno.- El polvo de polietileno empleado fué proporcionado por PEMEX y pulverizado en una micropulverizadora industrial. La densidad del polvo de polímero es de 0.918 g/cm^3 determinado por picnometría usando benceno como líquido de inmersión a la temperatura de $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

El análisis granulométrico, del polvo de polietileno, muestra que los diámetros de partícula varían desde 100 a 700 micras, siendo la fracción de 250 a 420 micras la de mayor porcentaje. En la figura (7) se muestra la distribución granular del polvo de polietileno.

La temperatura de fusión, de este polvo, es de $103 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$, determinado en un calorímetro diferencial de barrido Perkin Elmer modelo DSC - 1 B, calentando a la velocidad de $10 \text{ }^\circ\text{C/min}$. Los resultados de las pruebas de densidad y

punto de fusión, indican que es un polietileno de baja densidad.

En la figura (8) se presenta el espectro por análisis infrarrojo de una película de polietileno tomando el aire como referencia.

El espectro del polietileno se estudia de acuerdo a los grupos funcionales -repetitivos $-\text{CH}_2-$. Las bandas características se presentan en forma intensa a 2925 , 1850 y 1470 cm^{-1} . Posteriormente, se presenta absorción por este mismo grupo a 725 y 720 cm^{-1} .

La banda de absorción menos intensa a 1375 cm^{-1} corresponde a una cadena de metileno, que se repite cuatro veces o más.

(35)

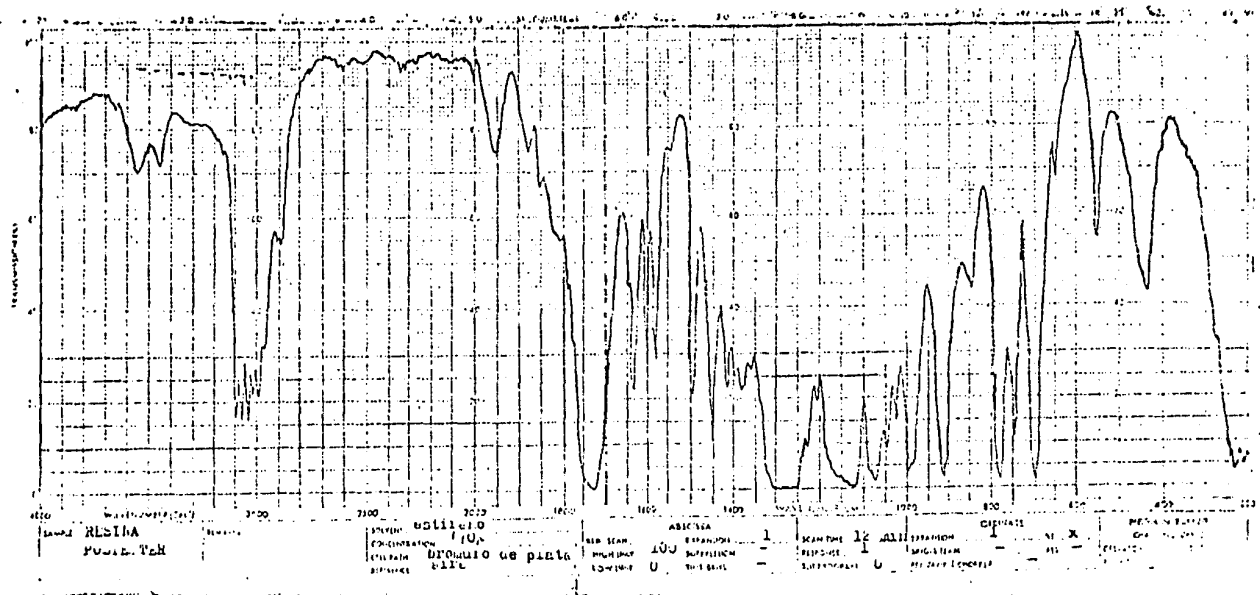


Fig (3).- Espectro infrarrojo de la resina poliester insaturada.

Fig (5).- Espectro infrarrojo del peróxido de metil-etil-cetona
empleado como catalizador.

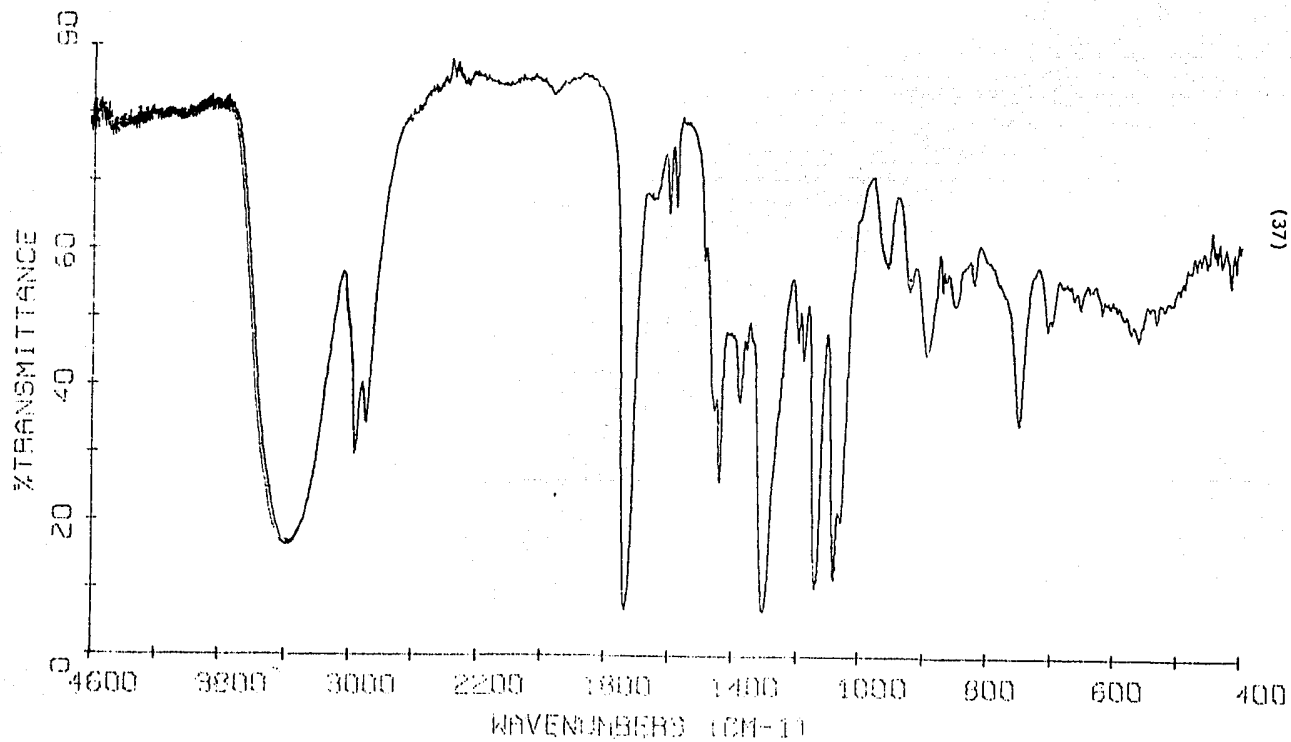
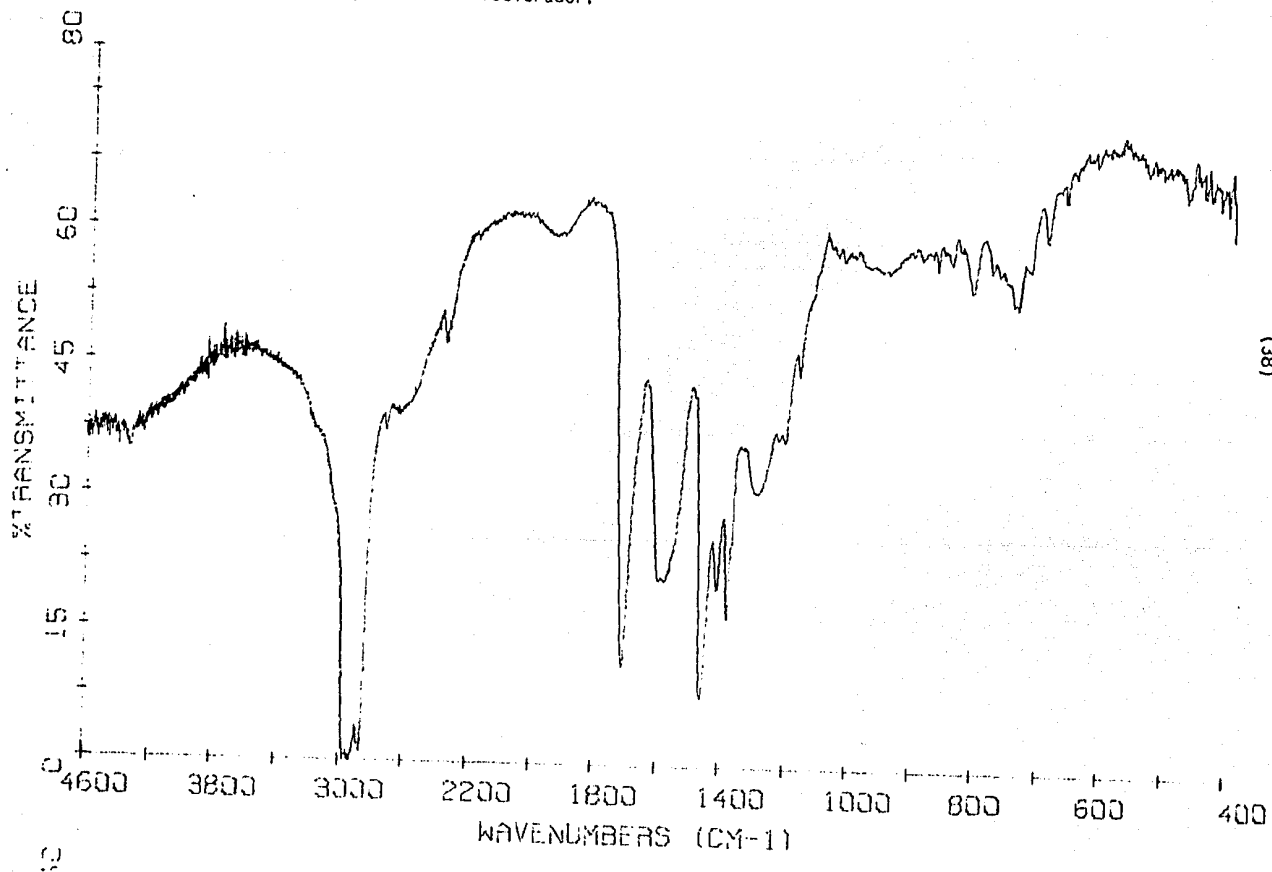


Fig (6).- Espectro infrarrojo del naftenato de cobalto
empleado como acelerador.



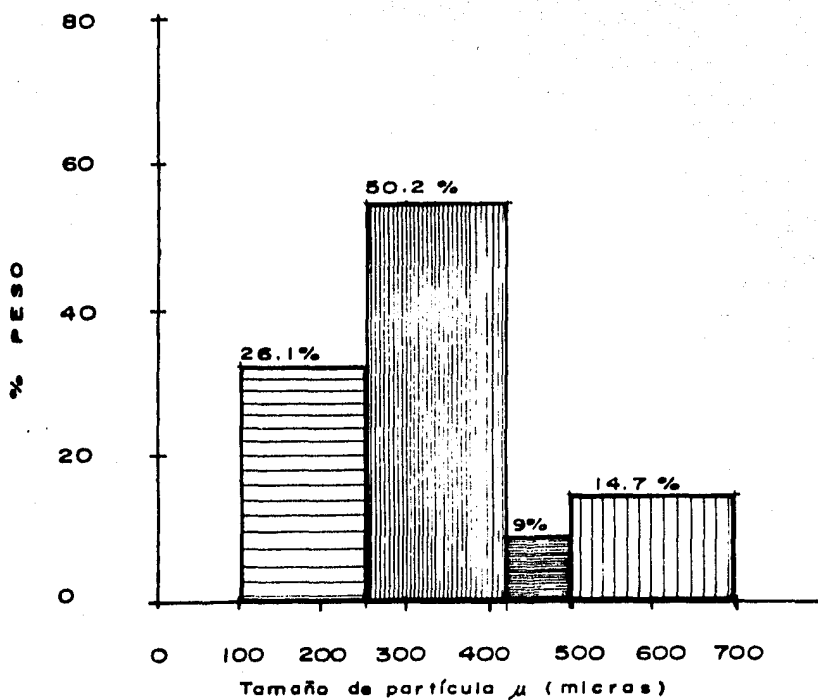


FIG (7) ANALISIS GRANULOMETRICO DEL POLVO DE POLIETILENO

(40)

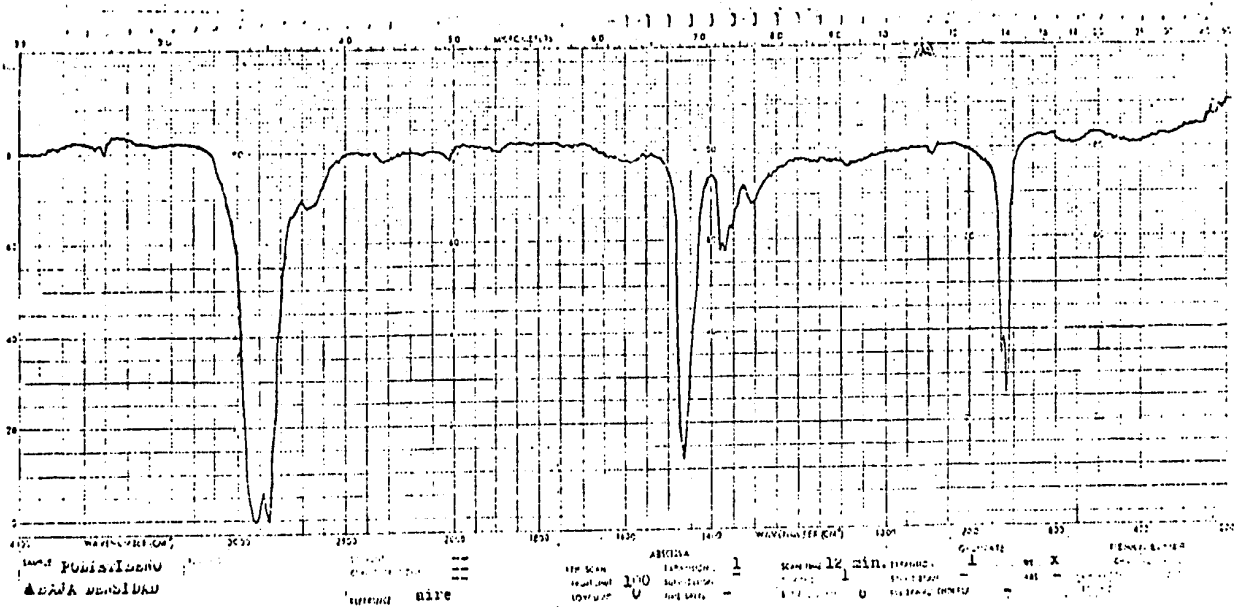


Fig (8).- Espectro infrarrojo del polietileno de baja densidad.

4.3 PREPARACION DE MUESTRAS

4.3.1 MUESTRAS DE RESINA POLIESTER - MONOMERO DE ESTIRENO

Estas muestras fueron preparadas de la siguiente manera: la resina poliester y el monómero de estireno se mezclaron de acuerdo a las formulaciones siguientes: 5, 10, 20, 30 y 40% en peso de monómero; posteriormente, se agregó, a la mezcla, el acelerador, agitando constantemente. Finalmente se agregó el catalizador y se agitó vigorosamente hasta homogeneización. Inmediatamente la mezcla se depositó en un molde de silicón, que permitió obtener especímenes, en la forma que indican las normas ASTM 638-72 para tensión y -790-71 para flexión. La reacción de curado se realizó entonces a temperatura ambiente.

Este método ofrece la ventaja de evitar la posterior maquila de las probetas y de eliminar las probables alteraciones en las propiedades del material, que se observan cuando son maquinadas.

Las formulaciones preparadas se identificaron de acuerdo a la siguiente nomenclatura; 90/10, 80/20, 70/30 y 60/40, notación que asigna la primera cifra a la cantidad porcentual en peso de la resina y la segunda a la del monómero.

4.3.2 MUESTRAS PARA EL SISTEMA RESINA POLIESTER-MONOMERO DE ESTIRENO CON PARTICULAS DE POLIETILENO, (PE)

La preparación, de estas muestras, es idéntica a la anterior de resina poliester-monómero de estireno a excepción de que el polvo de polietileno es agregado inmediatamente después de formar la mezcla resina-monómero. Los por

centajes en peso de PE, que fueron agregados son: 5, 10, 15, 20 y 25%. El curado de estas muestras también se realizó a temperatura ambiente en el molde de silicón descrito anteriormente. Las muestras así preparadas se utilizaron para su ensaye mecánico.

4.3.3 MUESTRAS PARA DETERMINAR LA CONTRACCION EN LA RESINA POLIESTER

La contracción se determina para cada una de las corridas de la resina poliester con monómero de estireno, con polietileno y sin polietileno. Las muestras se preparan con la misma mezcla empleada para obtener los especímenes para pruebas mecánicas y se depositan en ampollitas de vidrio de 10 ml para que se complete la reacción de curado.

4.3.4 PREPARACION DE JUNTAS ADHESIVAS

Las muestras de polietileno, empleadas para determinar la adherencia por medio de juntas adhesivas, se hicieron con dos placas de dicho polímero de 7 cm de largo por 1 cm de ancho.

Los especímenes, para juntas traslapadas, son lo suficientemente gruesas para ser rígidas (3 mm). Este ensaye mide el esfuerzo cortante del adhesivo.

El otro método empleado es la junta por desprendimiento, en las que las placas de polietileno tienen un espesor de 1 mm. dado que, en este caso, se requiere que sean flexibles. En este ensaye, una mínima parte del adhesivo contribuye al esfuerzo. En la figura (2) se mostró esquemáticamente las dos -- juntas adhesivas empleadas y la forma de ensaye.

En ambas pruebas, se usó una superficie de 1 cm^2 para colocar la mezcla po-

liester-estireno con el sistema catalizador-acelerador empleado.

4.3.5 MUESTRAS PARA DETERMINACION DE ANGULOS DE CONTACTO

Las muestras, para la determinación de ángulos de contacto, requieren únicamente de una pequeña placa de polietileno, sobre la cual se deposita una gota de la mezcla resina poliester-monómero de estireno sin acelerador, ni catalizador, después de haber sido homogeneizada. Las formulaciones, resina poliester-monómero de estireno, empleadas en determinación de ángulos de contacto, fueron: 90/10, 80/20, 70/30 y 60/40.

4.4 METODO DE PRUEBA

4.4.1 PRUEBAS MECANICAS

Las pruebas realizadas fueron de tensión uniaxial y flexión pura.

Tensión.- El método de prueba se basó en la norma ASTM 638-72. En la figura (9), se muestra el tipo de probeta empleada y sus dimensiones.

Los especímenes se probaron en una máquina Instron modelo 1137 con una velocidad de deformación de 5 mm/min. La prueba fué llevada a cabo después de 24 hrs de la reacción de entrecruzamiento.

Flexión.- Esta prueba se realizó de acuerdo a la norma ASTM 790-71, los especímenes tenían las siguientes dimensiones, ancho 2.5 cm, largo 8 cm. espesor 0.32 cm. Estos se colocaron sobre dos soportes, espaciados 5 cm. La carga se aplicó en el centro de la muestra a una velocidad de 1 mm/min. La figura (10) muestra el esquema para esta prueba.

(44)

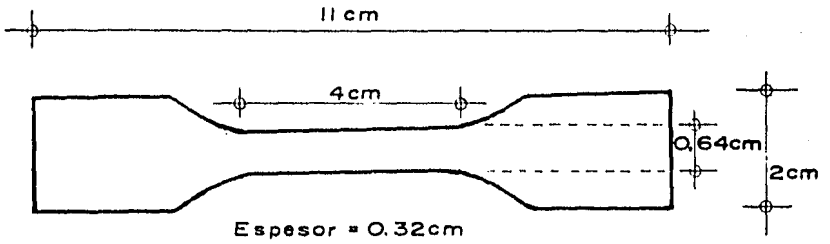


FIG (9) ESPECIMEN PARA ENSAYE A LA TENSION.

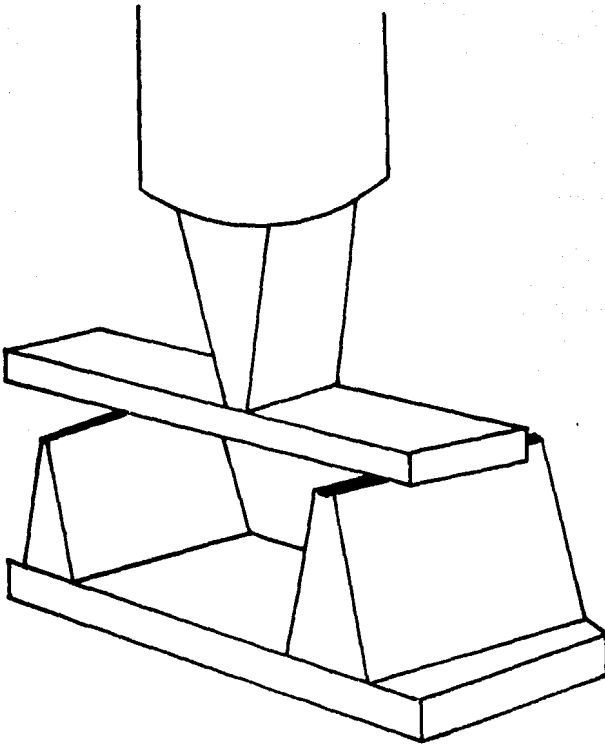


FIG (10) ESQUEMA DEL ENSAYE A LA FLEXION.

Tenacidad.- La tenacidad se calcula a partir de la prueba de tensión. Los valores de esfuerzo ingenieril, contradeformación ingenieril, sirven para calcular datos para varios puntos del esfuerzo real y deformación real, con los que se hace una gráfica esfuerzo-deformación reales. El área bajo la curva de estas dos variables es la tenacidad del material.

4.4.2 PRUEBAS DE ADHESION

Juntas adhesivas.- El ensaye mecánico, para las pruebas de adhesión, se efectuó en una máquina Instron 1137, 24 hrs, después de que se prepararon las juntas; la velocidad de prueba fué de 1 mm/min.

Para las juntas por desprendimiento, se utiliza una velocidad de 10 mm/min. y fueron ensayadas 24 hrs después de su preparación.

Angulos de contacto.- En la determinación de ángulos de contacto se empleó el sistema, que se muestra en las figuras (11, 12 y 13), cuyo funcionamiento está basado en la incidencia de un haz de luz sobre la gota de resina poliester-monómero de estireno, la cual está colocada sobre una superficie de polietileno. Este haz se proyecta, posteriormente, en una pantalla, que amplifica el perfil de la gota. La proyección sobre la pantalla es entonces fotografiada para determinar, posteriormente, el ángulo que guarda dicha gota con respecto a la lámina de polietileno.

Se tomaron cuatro fotografías para cada formulación de resina poliester-mo-nómero de estireno a diferentes tiempos; a los 0.5 min. de colocada la gota, a los 0.5 min., a los 10.5 min. y finalmente a los 20.5 min. En la figura (12) se muestra la imagen en la pantalla de una de las gotas a las que se les determinó ángulos de contacto, mediante el uso de un goniómetro⁽²⁴⁾ y me-

(46)

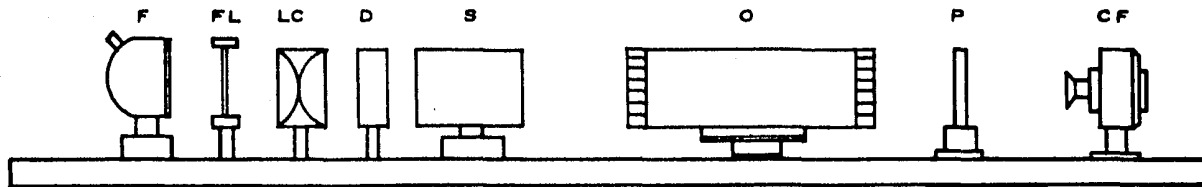


FIG (11) ESQUEMA DEL APARATO, MONTADO SOBRE UN RIEL OPTICO

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

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

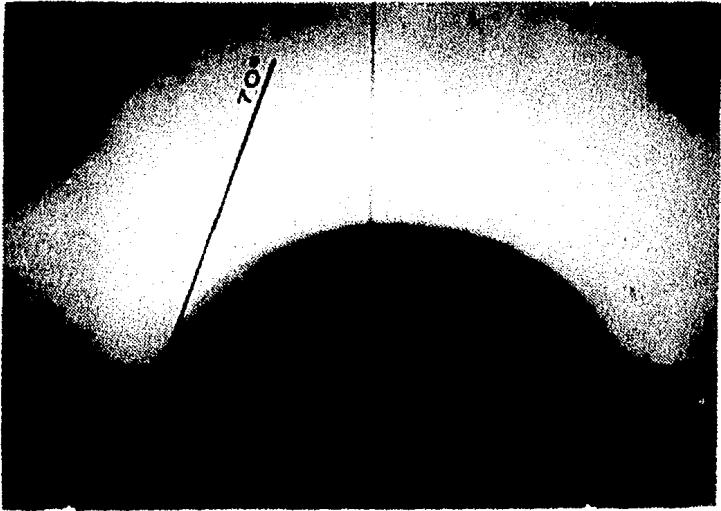


Fig (12).- Fotografia de la gota de resina poli-
ester- monómero de estireno proyectada en la -
pantalla del equipo para determinar ángulos de
contacto.

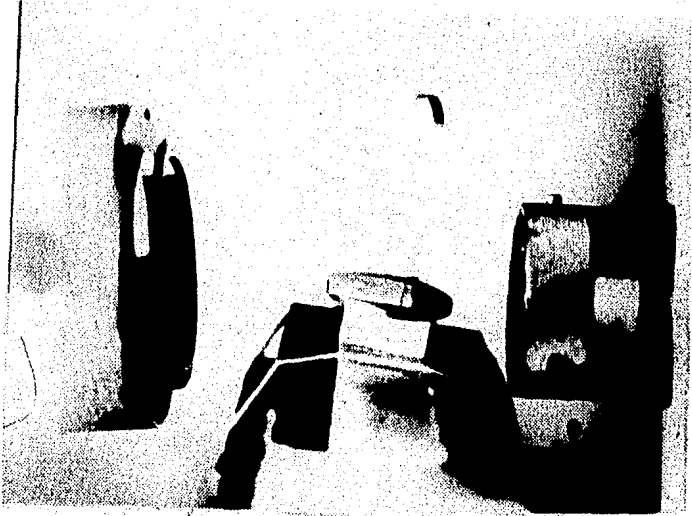


Fig (13).- Fotografía del sistema para determinar ángulos de contacto. Al lado izquierdo se observa la lámpara; en medio la gota y, a la derecha, el tubo para enfocar la imagen hacia la pantalla.

diante la fórmula siguiente; $\theta = 2 \text{ arc tang } \frac{y}{x}$ donde y es dos veces la altura de la gota y x el diámetro de la gota.

4.4.3 CONTRACCION DE LA RESINA POLIESTER

Al depositar la mezcla catalizada de resina poliester-monómero de estireno, con y sin polietileno, se marca el nivel ocupado originalmente en las ampollitas de vidrio. Posteriormente se toman lecturas de dicho nivel después que la resina ha endurecido, 24 y 48 hrs después. Las lecturas anteriores se comparan porcentualmente respecto al nivel original de la mezcla al iniciarse la reacción de curado.

Para evitar un posible error al tomar superior de la mezcla resina-monómero de esta prueba, al momento en que se completa la gelación, se eliminó la con cavidad de la parte superior que formó la mezcla de reacción líquida y así evitar que su adhesión al vidrio no permitiera una posterior medición del nivel del material con una buena precisión.

5.0 RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Resina Poliester-Monómero de Estireno	51
5.2 Resina Poliester/monómero de Estireno-Polietileno	55
5.2.1 Formulación 90/10-Polietileno	55
5.2.2 Formulación 80/20-Polietileno	58
5.2.3 Formulación 70/30-Polietileno	61
5.2.4 Formulación 60/40-Polietileno	64
5.2.5 Tenacidad del Polietileno de Baja Densidad	68
5.3 Grado de Adhesión	75
5.3.1 Juntas Adhesivas	75
5.3.2 Angulos de Contacto	75
5.4 Contracción de la Resina Poliester	78

5.0 RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 RESINA POLIESTER-MONOMERO DE ESTIRENO

En las figuras (14 y 15), se presentan las propiedades a la tensión y flexión respectivamente de la resina poliéster en función de la cantidad de monómero de estireno. Como se puede observar, el contenido de monómero, en la resina poliéster, aumenta la resistencia a la tensión, mientras que disminuye la resistencia a la flexión. El comportamiento de estas propiedades es prácticamente lineal para tensión y exponencial para flexión y puede representarse por las siguientes ecuaciones:

$$\begin{array}{ll} \text{para tensión } Y = 2.863 + 0.007 X & R = 0.948 \\ \text{para flexión } Y = 529.9 e^{(-0.004X)} & R = 0.851 \end{array}$$

donde Y es la propiedad mecánica y X es la concentración del monómero, R es el coeficiente de regresión.

La tendencia de las propiedades mecánicas a la tensión y flexión concuerdan con los resultados de la literatura⁽¹⁾.

Este comportamiento se explica por el crecimiento de la cadena molecular de la resina poliéster insaturada al reaccionar con el monómero de estireno, - que tiene una tendencia menor a la formación de enlaces entrecruzados, fenómeno que se explica por la baja resistencia a la flexión, que presentan las muestras.

Con respecto a la capacidad de absorción de esfuerzos (tenacidad), de la resina poliéster con monómero de estireno, esta propiedad disminuye inicialmente con la cantidad de monómero presente hasta la relación 90/10, para incre-

mentarse y alcanzar un máximo en la relación 80/20 y posteriormente disminuir. La figura (16), muestra estos resultados.

La tenacidad presenta diferentes tendencias, que dependen de la cantidad de mo número de estireno agregado a la resina poliéster. De acuerdo a los resultados, se espera que hasta un 10% de estireno, la unión entre cadenas poliéster es por segmentos muy pequeños de estireno. Posteriormente, hasta un 20% de estireno el entrecruzamiento entre las cadenas poliésteres por amarres - largos de cadenas de monómero. Por último, el descenso en la tenacidad posterior a un 20% de estireno se explica porque hay demasiado entrecruzamiento debido a la alta cantidad de monómero presente. Esto no permite una movilidad a nivel molecular y origina que el material se rompa rápidamente.

FIG. (14) RESINA POLIESTER -
MONOMERO DE ESTIRENO.
ENSAYE A LA TENSION

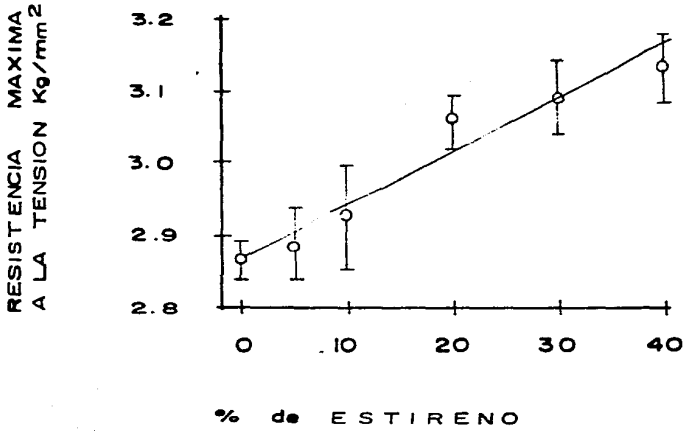


FIG. (15) RESINA POLIESTER -
MONOMERO DE ESTIRENO.
ENSAYE A LA FLEXION

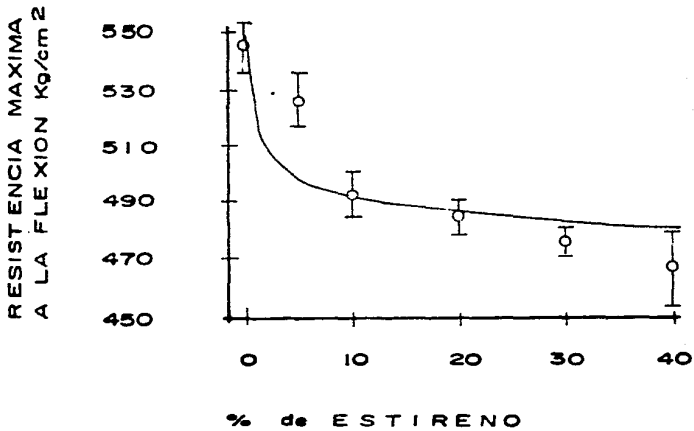
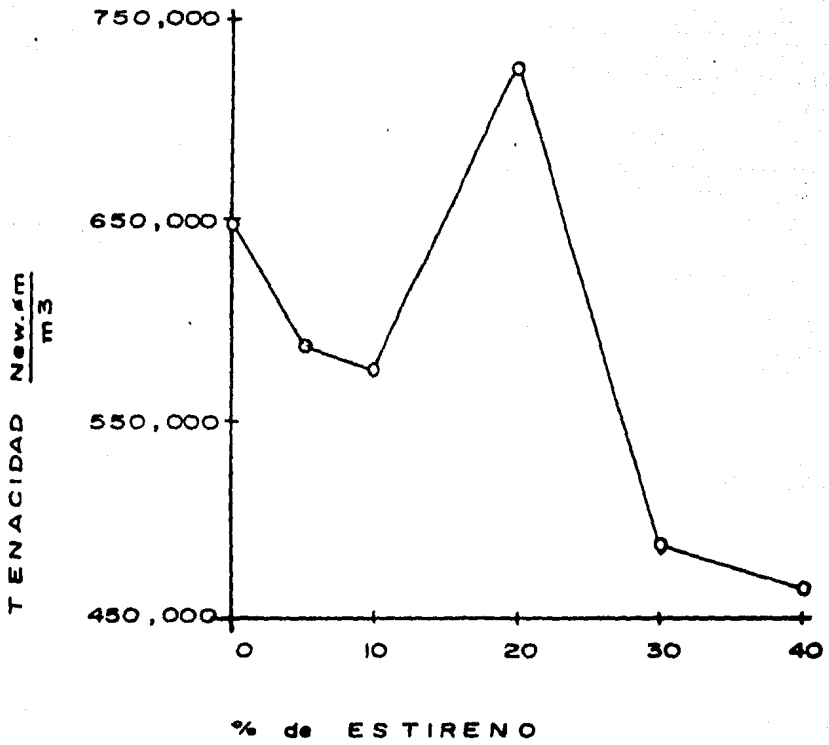


FIG. (16) RESINA POLIESTER -
MONOMERO DE ESTIRENO
TENACIDAD



5.2 RESINA POLIESTER/MONOMERO DE ESTIRENO-POLIETILENO

5.2.1 FORMULACION 90/10-POLIETILENO

La resistencia, a la tensión y flexión de la resina poliester, disminuye al aumentar la cantidad de polietileno en el material compuesto. El análisis de regresión presenta una tendencia tipo exponencial, de donde se obtuvieron las ecuaciones siguientes:

$$\text{para tensión } Y = 2.977 e^{(-0.047 X)} \quad R = 0.992$$

$$\text{para flexión } Y = 510.108 e^{(-0.045 X)} \quad R = 0.974$$

donde Y es la propiedad mecánica y X, la cantidad de polietileno presente en la resina, R es el coeficiente de regresión. En las figuras (17 y 18) se tienen los datos experimentales y se traza la mejor curva para ellos de acuerdo a las ecuaciones de regresión encontradas.

La tenacidad desciende ligeramente, cuando se tiene PE al 5% y después decrece sensiblemente. La figura (19) muestra estos resultados.

FIG. (17) FORMULACION 90/10 -
POLIETILENO
ENSAYE A LA TENSION

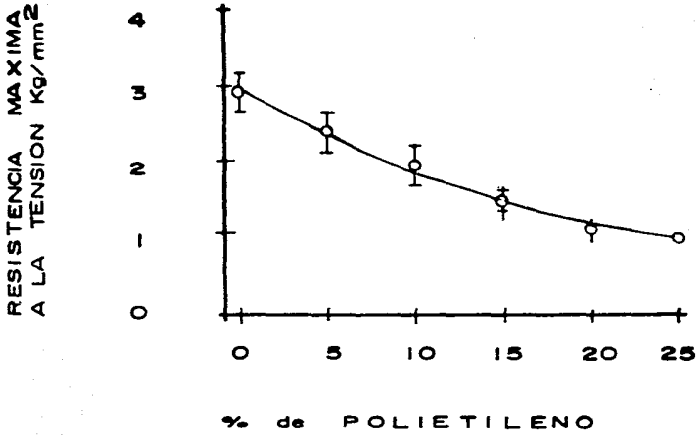


FIG. (18) FORMULACION 90/10 -
POLIETILENO
ENSAYE A LA FLEXION

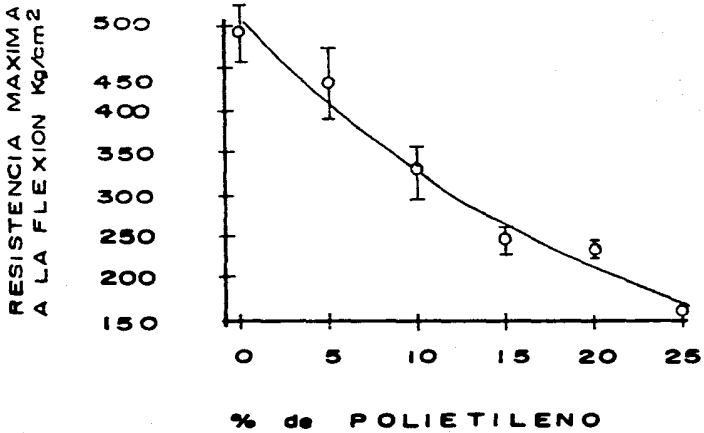
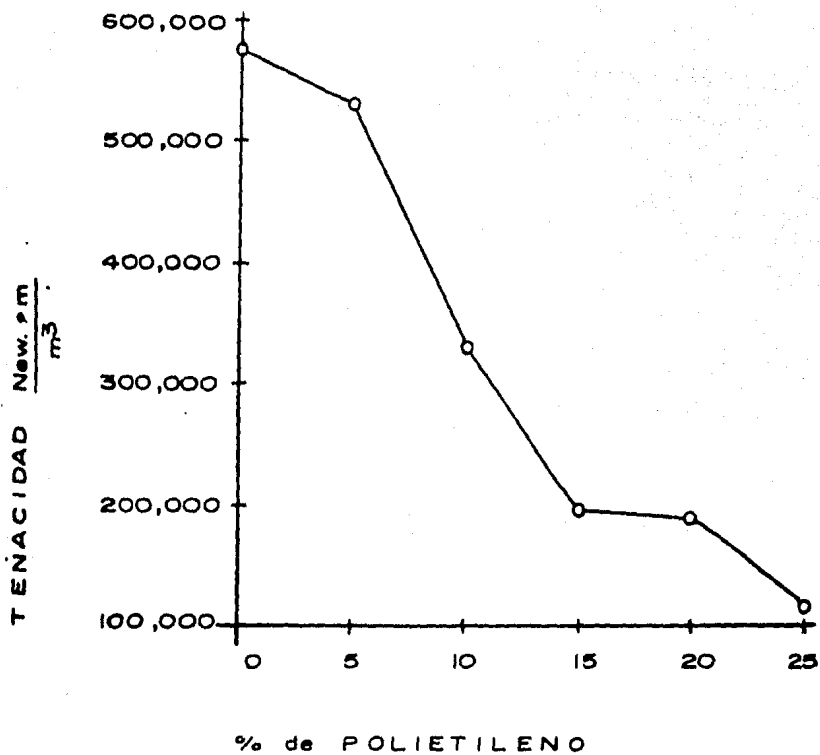


FIG. (19) FORMULACION 90/10-
POLIETILENO
TENACIDAD



5.2.2 FORMULACION 80/20-POLIETILENO

A diferencia de la corrida anterior, la propiedad mecánica a la flexión se aumenta con el contenido de polietileno, al 5% en peso, aunque posteriormente, disminuye.

Respecto a las propiedades a la tensión, éstas presentan un descenso constante con el aumento en el contenido de PE.

Los resultados experimentales se trataron por análisis de regresión para obtener las ecuaciones, que obedecen a los resultados. Las figuras (20 y 21) contienen los resultados de las pruebas mecánicas. Las ecuaciones de tipo exponencial son las siguientes:

$$\text{para tensión } Y = 3.391 e^{(-0.046)} \quad R = 0.93$$

$$\text{para flexión } Y = 583.468 e^{(-0.034)} \quad R = 0.853$$

Aunque se presentó un incremento en la resistencia a la flexión, en el análisis de los resultados a la tensión, no se incrementa la tenacidad. La figura (22), muestra los resultados obtenidos.

FIG. (20) FORMULACION 80/20-
POLIETILENO.
ENSAYE A LA TENSION.

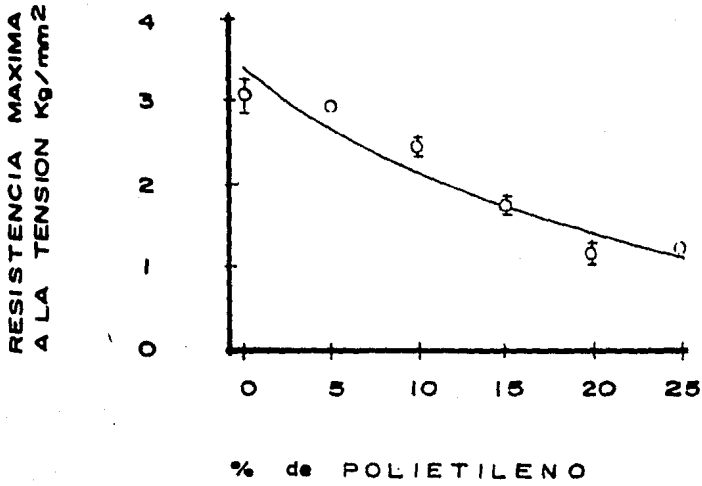


FIG. (21) FORMULACION 80/20-
POLIETILENO.
ENSAYE A LA FLEXION

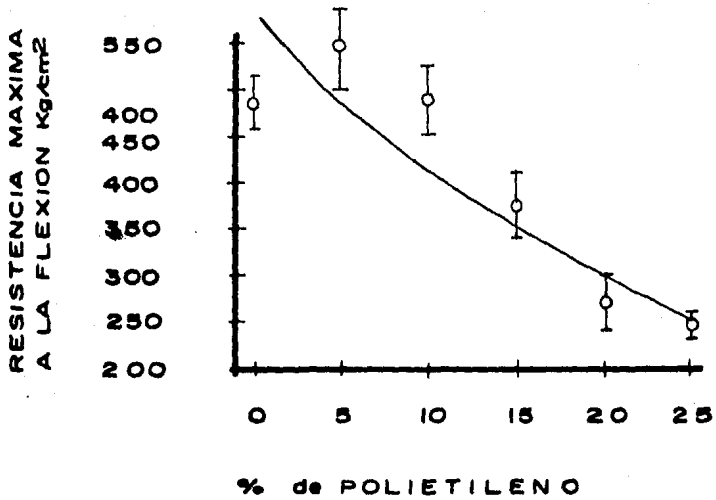
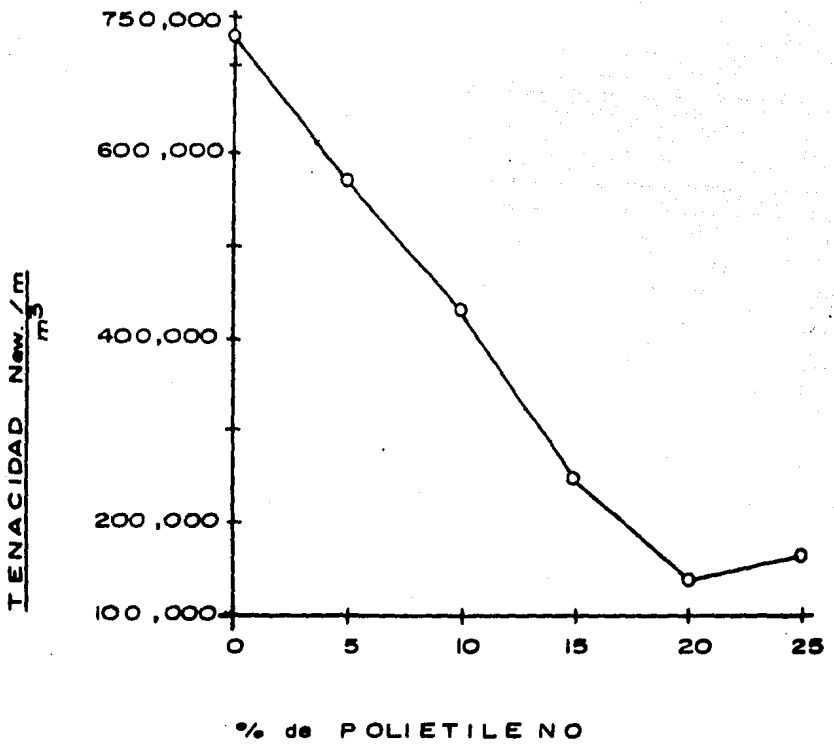


FIG. (22) FORMULACION 80/20-
POLIETILENO
TENACIDAD



5.2.3 FORMULACION 70/30-POLIETILENO

AL igual que la formulación 90/10, el comportamiento mecánico a la tensión y la flexión presenta un descenso en el valor de sus propiedades de resistencia con el aumento del contenido de PE, como se muestra en las figuras (23 y 24).

Las ecuaciones de regresión exponenciales, para los seis puntos experimentales, son las siguientes:

$$\text{para tensión } Y = 4.303 e^{(-0.118 X)} \quad R = 0.877$$

$$\text{para flexión } Y = 489.472 e^{(-16.622 X)} \quad R = 0.964$$

La capacidad de absorción de esfuerzos, al igual que las formulaciones anteriores, desciende con el aumento en la cantidad de PE, figura (25).

FIG. (23) FORMULACION 70/30-
POLIETILENO
ENSAYE A LA TENSION

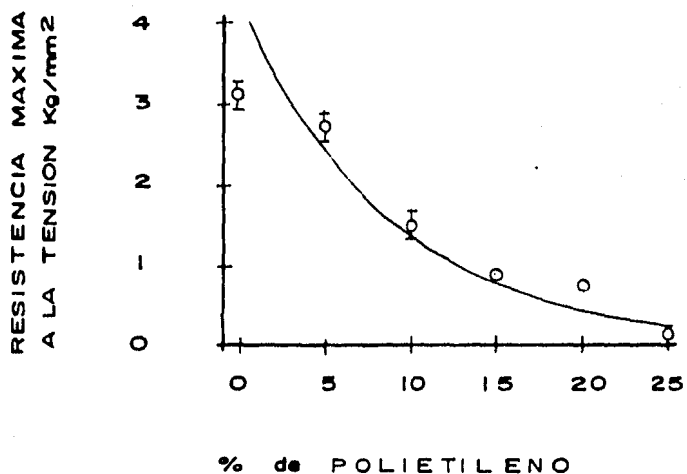


FIG. (24) FORMULACION 70/30-
POLIETILENO
ENSAYE A LA FLEXION

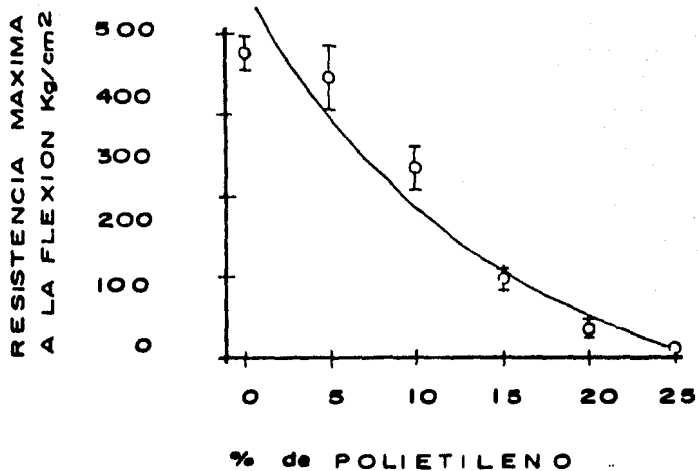
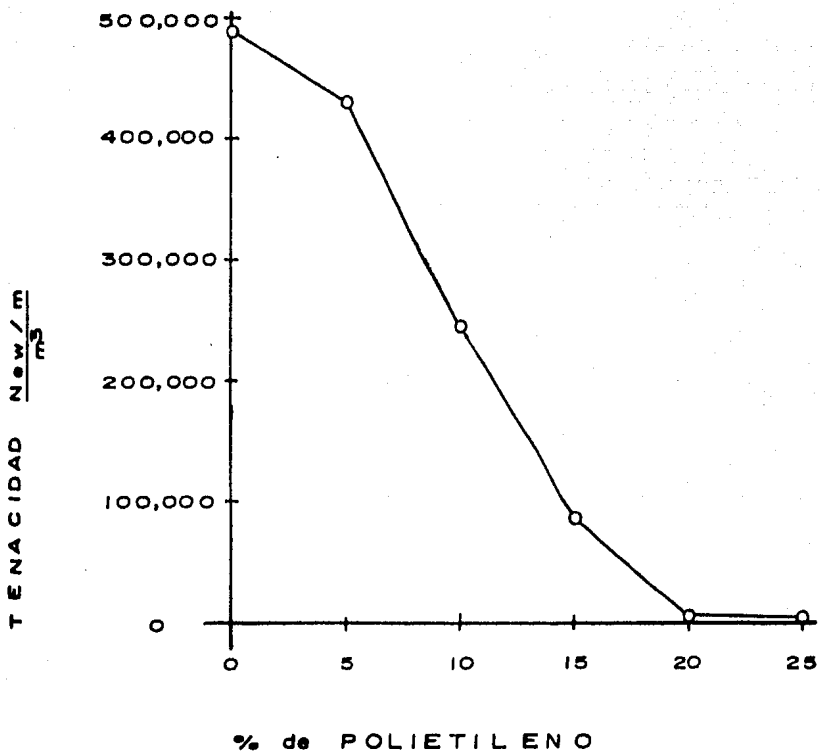


FIG. (25) FORMULACION 70/30
POLIETILENO
TENACIDAD



5.2.4 FORMULACION 60/40 - POLIETILENO

Como en la relación 80/20, en este caso también se incrementa la resistencia a la flexión ligeramente cuando se tiene en la formulación 5% de polietileno. Esta relación 60/40 resina-monómero es muy fluida por lo que humidifica fácilmente las partículas, quedando englobadas en el sistema. La figura (27) muestra los resultados.

La resistencia a la tensión desciende con el aumento en el contenido de PE, como se ve en la figura (26).

Las ecuaciones de regresión, tipo exponencial para los resultados experimentales, se presentan a continuación:

$$\text{para tensión } Y = 4.776 e^{(-0.166)} \quad R = 0.952$$

$$\text{para flexión } Y = 869.197 e^{(-0.175)} \quad R = 0.891$$

Las mejores curvas, para estos resultados, se presentan en las gráficas anteriores.

La tenacidad presenta un incremento cuando contiene un 5% de polietileno, por lo cual se observa que el polietileno influye en esta propiedad, aunque al aumentar el polietileno, del 10% en adelante, disminuye.

La tabla (1) muestra los valores numéricos de las propiedades mecánicas de tensión, flexión y tenacidad obtenidos experimentalmente.

FIG. (26) FORMULACION 60/40
POLIETILENO
ENSAYE A LA TENSION

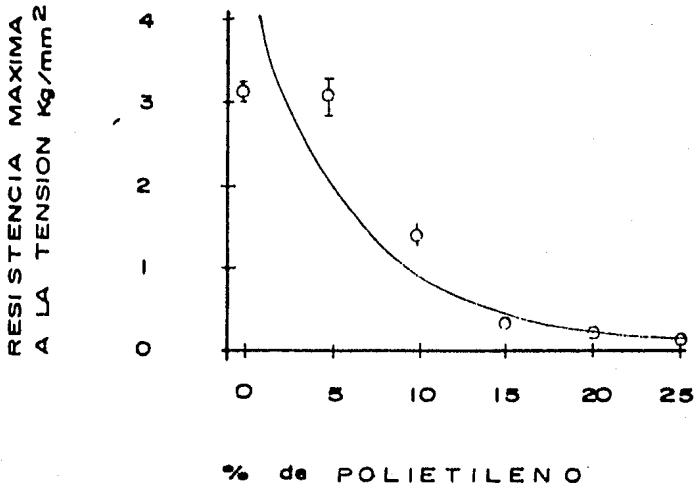


FIG. (27) FORMULACION 60/40
POLIETILENO
ENSAYE A LA FLEXION

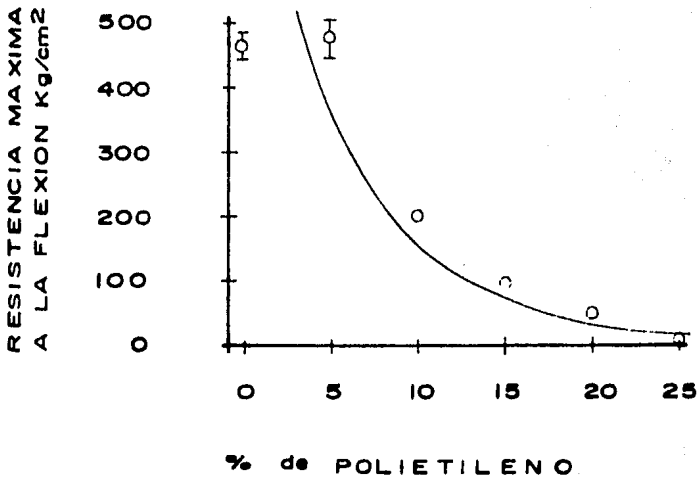
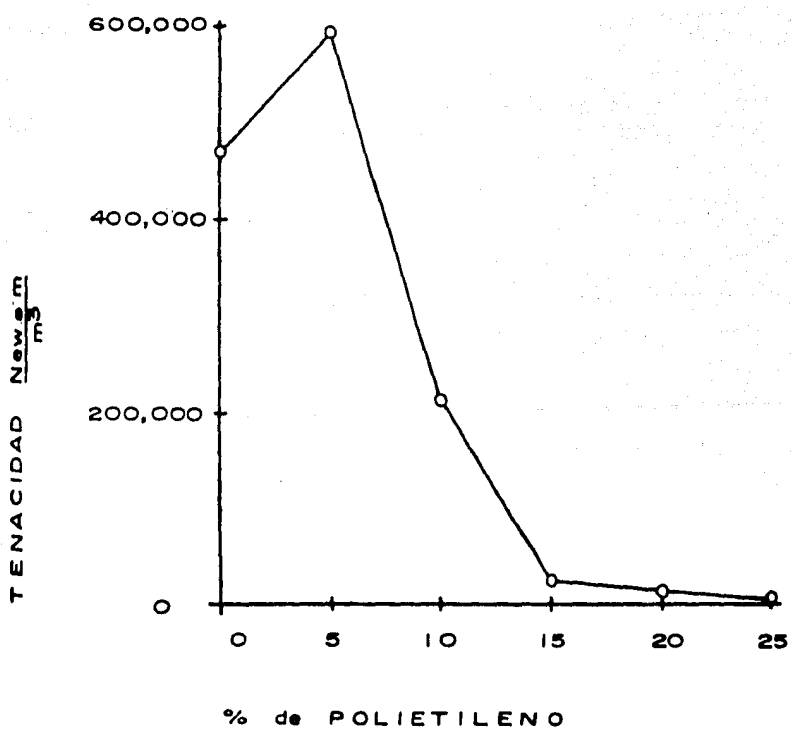


FIG. (28) FORMULACION 60/40-
POLIETILENO
TENACIDAD



T A B L A (1)

F o r m u l a c i ó n		P r o p i e d a d M e c á n i c a		
Poliester/ Estireno	Contenido de polietileno (%)	Resistencia a la tensión kg/mm ²	Resistencia a la flexión kg/cm ²	Tenacidad New.m m ³
100/0	0	2.863	544.11	640 593
95/5	0	2.882	525.98	585 657
90/10	0	2.921	492.74	573 885
80/20	0	3.056	485.10	723 978
70/30	0	3.087	476.24	487 633
60/40	0	3.129	466.24	466 956
90/10	5	2.392	430.54	530 721
90/10	10	1.938	328.16	329 616
90/10	15	1.437	241.68	195 219
90/10	20	1.093	231.69	183 449
90/10	25	0.953	159.70	117 720
80/20	5	2.923	545.68	573 885
80/20	10	2.405	487.04	432 621
80/20	15	1.734	373.12	247 212
80/20	20	1.132	264.71	137 340
80/20	25	1.160	238.80	167 751
70/30	5	2.689	445.30	428 697
70/30	10	1.484	332.22	245 250
70/30	15	0.850	194.69	84 366
70/30	20	0.725	133.09	6 867
70/30	25	0.124	109 85	3 924
60/40	5	3.059	476.46	591 788
60/40	10	1.375	194.80	210 915
60/40	15	0.305	92.25	24 527
60/40	20	0.142	44.59	10 791
60/40	25	0.079	5.50	3 924

A fin de englobar los resultados, en la tabla (2) se presentan los efectos - tanto positivos como negativos, del contenido de PE en la resina poliéster para resistencia a la tensión y a la flexión.

Las gráficas, que resultan de la tabla anterior, aparecen en la figura (29) para tensión, en la figura (30) para flexión y en la (31) para tenacidad.

En la figura (29) se observa que para todos los casos, al mezclar el polietileno en polvo con la resina poliéster, los valores de resistencia a la tensión decaen por la falta de adhesión.

En la figura (30) se muestra la variación de la resistencia a la flexión, al agregar polietileno en polvo.

La conducta, que se esperaría en estos casos, debería ser similar a la de la resina poliéster cuando, a ésta, se le adiciona estireno. Sin embargo, existen dos formulaciones (80/20 y 60/40), las cuales tienen mejores propiedades a la flexión, cuando se les ha agregado 5% de polietileno. Podría pensarse que este porcentaje de termoplástico, en estos casos, actuara como una carga que absorbe los diferentes esfuerzos presentes en el ensaye a la flexión, que se muestran en la figura (31).

5.2.5 TENACIDAD DEL POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD

La capacidad de absorción de esfuerzos del polietileno, se determinó a una velocidad de 10 mm/min. El resultado obtenido fué de 86, 916, 000 $\frac{\text{New.M.}}{\text{M}^2}$. El resultado, en principio, indica que el PE puede incrementar significati-

T A B L A (2)

% de Variación de las Propiedades Mecánicas de la Resina Poliester con Polietileno. Se Toma Como Referencia la Matriz Polimérica Sin Refuerzo.

		T E N S I O N				
FORMULACION		% D E P O L I E T I L E N O				
		5	10	15	20	25
90/10	% de Variación (±)	-13.5	-33.6	-50.8	-62.7	-67.4
80/20	% de Variación (±)	- 4.3	-21.3	-43.2	-62.9	-62.0
70/30	% de Variación (±)	-12.9	-51.9	-72.4	-96.0	-96.0
60/40	% de Variación (±)	- 2.2	-56.0	-90.2	-97.5	-97.5

		F L E X I O N				
FORMULACION		% D E P O L I E T I L E N O				
		5	10	15	20	25
90/10	% de Variación (±)	-12.6	-33.4	-51.0	-53.0	-67.6
80/20	% de Variación (±)	+12.5	+ 0.4	-23.0	-45.4	-50.8
70/30	% de Variación (±)	- 6.4	-30.2	-59.1	-72.0	-77.0
60/40	% de Variación (±)	+ 2.2	-58.2	-80.2	-90.4	-92.8

T A B L A (2)

(Continua)

FORMULACION		T E N A C I D A D				
		% D E P O L I E T I L E N O				
		5	10	15	20	25
90/10	% de Variación (\pm)	-7.5	-42.5	-66.0	-68.0	-79.5
80/20	% de Variación (\pm)	-20.5	-40.2	-65.8	-81.0	-76.8
70/30	% de Variación (\pm)	-12.0	-49.7	-82.7	-98.6	-99.2
60/40	% de Variación (\pm)	+26.7	-54.8	-94.7	-97.7	-99.1

FIG. (29) VARIACION DE LA RESISTENCIA A LA TENSION AL AGREGAR EL POLIETILENO EN POLVO. SE TOMA COMO REFERENCIA LA MATRIZ POLIMERICA SIN POLIETILENO.

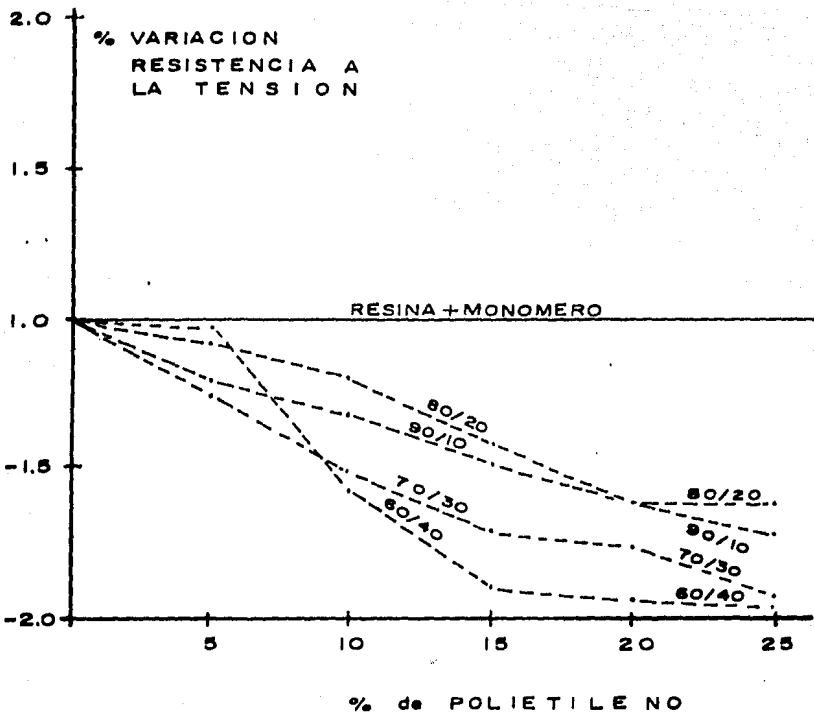
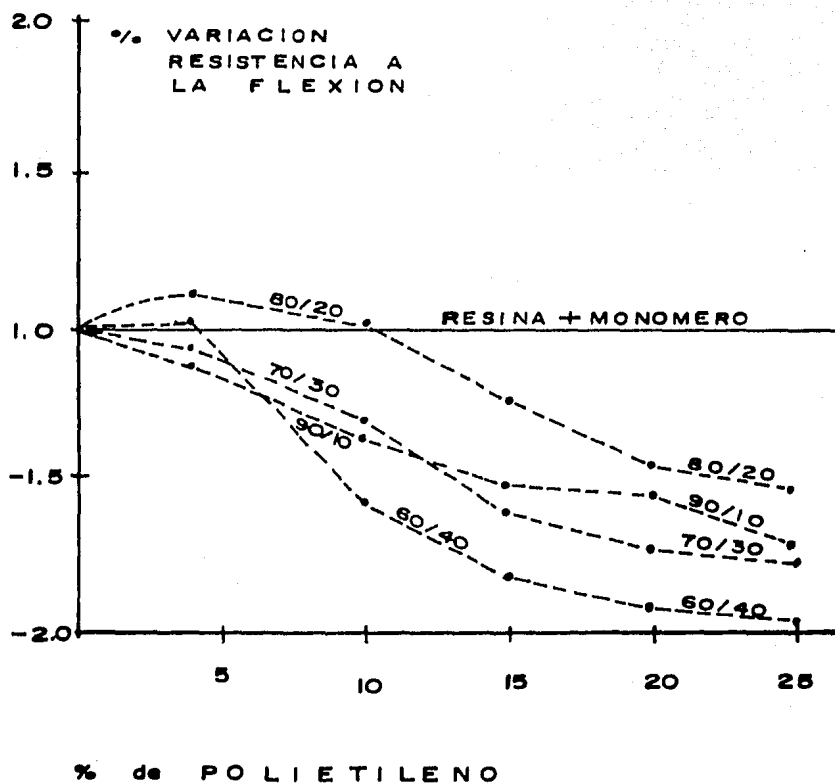
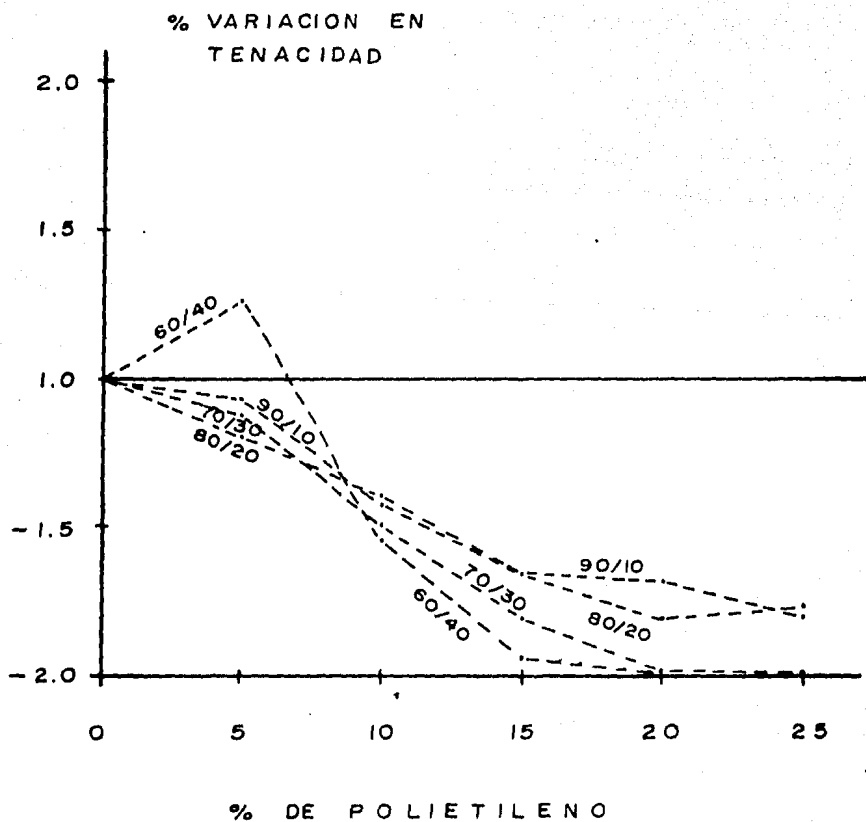


FIG. (30) VARIACION DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION AL AGREGAR EL POLIETILENO EN POLVO. SE TOMA COMO REFERENCIA LA MATRIZ POLIMERICA SIN POLIETILENO.



TENACIDAD

FIG (31) VARIACION DE LA TENACIDAD AL AGREGAR EL POLIETILENO EN POLVO. SE TOMA COMO REFERENCIA LA MATRIZ POLIMERICA SIN POLIETILENO.



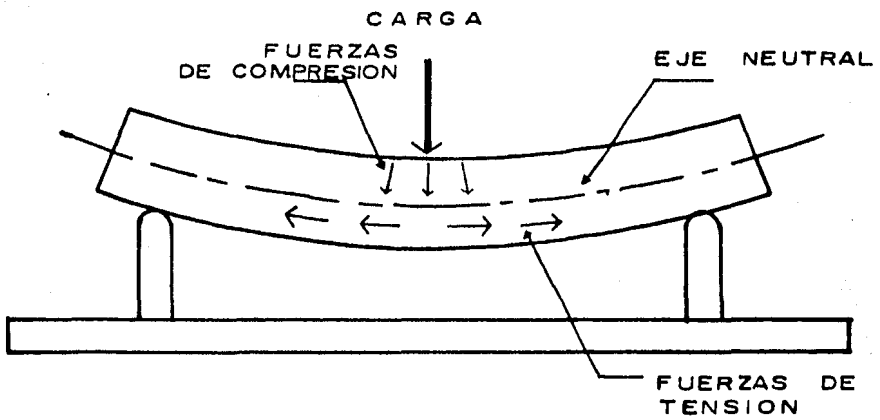


FIG. (32) DISTRIBUCION DE ESFUERZOS QUE ACTUAN EN EL ENSAYE A LA FLEXION

vamente la tenacidad de la resina poliester, dado que el máximo valor, de absorción de esfuerzos que ésta presenta, es de $650,000 \frac{\text{New.M.}}{\text{M}^2}$.

Experimentalmente se encontró que solo en la formulación 80/20, el valor de la tenacidad es mayor que el de la resina sin agregar monómero ($723,000 \frac{\text{New.M.}}{\text{M}^2}$).

5.3 GRADO DE ADHESION

5.3.1 JUNTAS ADHESIVAS

En ninguno de los dos métodos empleados de juntas adhesivas, (juntas traslapadas y juntas por desprendimiento) se obtuvo una lectura suficientemente grande para determinar su valor. Esto indica que la adherencia del sistema resina poliester- monómero de estireno y el polietileno, es prácticamente nula.

5.3.2 ANGULOS DE CONTACTO

Los resultados, de las lecturas de ángulos de contacto, han demostrado que dicho ángulo desciende al aumentar el porcentaje de monómero de estireno. Puede observarse que para la relación 90/10, el ángulo de contacto aumenta con respecto al tiempo. Sin embargo, para las relaciones 80/20, 70/30 y 60/40, el ángulo de contacto disminuye con respecto al tiempo.

Las determinaciones de ángulos de contacto, se presentan en la tabla (3) para las determinaciones mediante el goniómetro y mediante la fórmula $\theta = 2 \arctan \frac{Y}{X}$, donde X es el diámetro de la gota y Y la altura de la gota. Los dos métodos difieren en resultados numéricos; pero se considera que la determinación, por medio de la ecuación $\theta = 2 \arctan \frac{Y}{X}$, es la más correcta, dado

T A B L A (3)

A n g u l o s d e c o n t a c t o

Uso de la formula $\theta = 2 \arctan \frac{y}{x}$

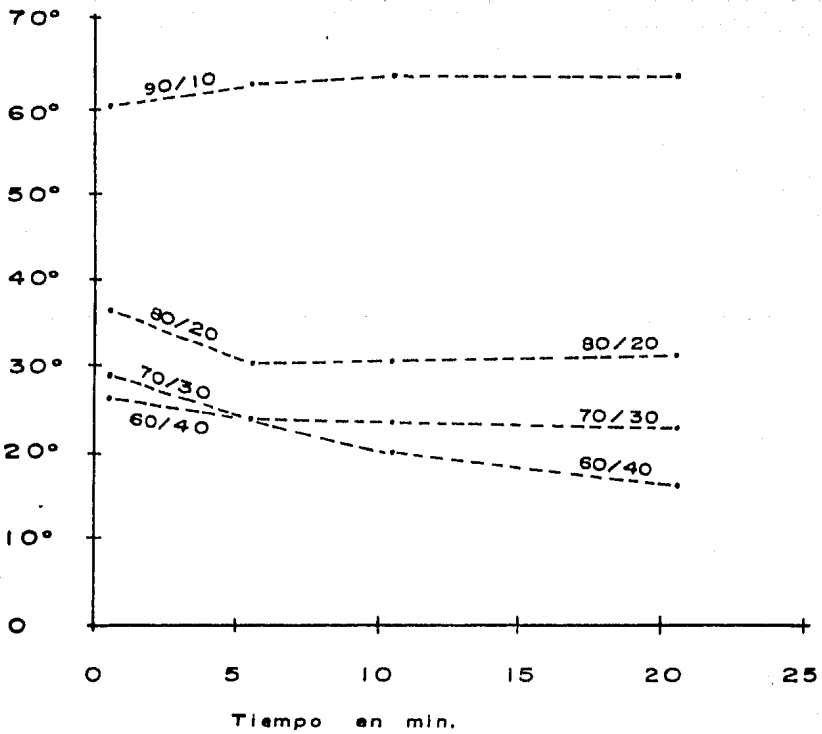
A n g u l o s d e c o n t a c t o

Tiempo/min	90/10	80/20	70/30	60/40
0.5	60.6	36.4	29.2	25.7
5.5	63.2	32.2	25.0	24.0
10.5	63.8	32.0	24.0	20.2
20.5	64.0	31.5	23.1	16.2

Determinación con Goniómetro

Tiempo/min	90/10	80/20	70/30	60/40
0.5	62	43	29	27
5.5	66	38	24	25
10.5	68	36	24	24
20.5	70	33	23	21

FIG (33) ANGULOS DE CONTACTO



que resulta más preciso delimitar los resultados de X y Y que la lectura directa del ángulo. Estos últimos resultados se presentan en la figura (33), donde se grafican contra el tiempo de contacto.

Relación Entre Angulos de Contacto y la Transmisión de Propiedades del Polietileno a la Resina Poliester.

Como se ha indicado anteriormente, la adherencia, entre la resina poliester y el polietileno, es un factor muy importante para que el material obtenido presente, en conjunto, propiedades de la matriz y el polímero en polvo.

En principio, dado que la relación 60/40 presenta el menor ángulo de contacto de todas las formulaciones, es de esperar que, debido a ello, se aumente el grado de mojado, por lo cual, la adherencia se verá favorecida y, de esta manera, transmitirá mejor las propiedades del polietileno a la resina poliester.

Los resultados son contrarios a lo esperado ya que la formulación 60/40, tiene propiedades mecánicas de flexión y tensión más bajas que aquellas, que tienen mayor ángulo de contacto, a excepción de la tenacidad que presenta un incremento cuando tiene 5% de polietileno. Estos resultados se presentan en las figuras (29 y 30).

5.4 CONTRACCION DE LA RESINA POLIESTER

La resina poliester durante la reacción de curado, sufre contracción, que llega a causar rompimiento. Este cambio dimensional se incrementa con el aumento en la concentración de estireno.

La inclusión de PE estabiliza dimensionalmente la resina y puede notarse en los resultados de la tabla (4). Esta estabilidad se consigue rápidamente con

TABLA (4) CONTRACCION DE LA RESINA POLIESTER

Formulación poliester/estireno	% Polietileno	Contracción %	
		24 hrs.	48 hrs.
100/0	0	0.4	0.4
95/5	0	0.82	0.95
90/10	0	0.83	0.95
80/20	0	0.92	1.25
70/30	0	1.03	1.3
60/40	0	1.02	1.3
90/10	5	--	--
90/10	10	--	--
90/10	15	--	--
90/10	20	--	--
90/10	25	--	--
80/20	5	0.6	0.6
80/20	10	--	--
80/20	15	--	--
80/20	20	--	--
80/20	25	--	--
70/30	5	0.97	0.97
70/30	10	0.89	0.89
70/30	15	0.47	0.47
70/30	20	--	--
70/30	25	--	--
60/40	5	1.02	1.3
60/40	10	0.57	1.03
60/40	15	0.63	0.63
60/40	20	0.60	0.60
60/40	25	0.50	0.50

-- No es detectable la contracción por el método empleado.

la concentración 90/10-Polietileno, ya que no sufre contracción después de agregar el polietileno. La formulación 80/20-PE es menos estable. Sufre contracción cuando tiene PE al 5%, aunque sólo un 48% de la contracción final de la formulación sin polietileno, pero se estabiliza en el segundo día de curado. La formulación 70/30-polietileno, sufre encogimiento el primer día de curado cuando tiene PE al 5, 10 y 15%, y sufre un máximo de contracción de 74.5, 68.4 y 36% respectivamente, de la contracción sufrida por la matriz polimérica sin PE. Posteriormente, se mantiene estable. En la formulación 60/40-PE, no se consigue evitar la contracción de la resina poliéster en ninguna formulación con PE durante las primeras 24 hrs. Posteriormente, sólo las formulaciones al 5 y 10 % de PE mostraron contracción al cumplirse las 48 hrs de reacción, aunque después no sufrieron más encogimiento.

Las contracciones máximas de la formulación 60/40-PE con respecto a la resina poliéster sin PE son; para un contenido de PE al 5%, no se consigue evitar el encogimiento para un 10% de PE, el encogimiento fué de 0.57% en volumen, siendo un 79% del sufrido por la resina, para 15% de PE, fué de 0.63% en volumen y corresponde a un 48% del de la resina; para 20% fué 0.60, el cual representa un 46% del sufrido por la resina y, finalmente, para un contenido de PE al 25%, la contracción del material compuesto fué de 0.5% en volumen, 38% de la contracción sufrida por la resina.

En las formulaciones, que contienen PE, no existe rompimiento en la superficie de la resina durante el curado, fenómeno que sí se presenta en la resina poliéster, cuando no contiene polietileno.

6.0 CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

La resina poliéster aumenta sus propiedades, a la tensión, conforme se aumenta el % de estireno en la formulación. Sin embargo, las propiedades de flexión decaen exponencialmente.

La tenacidad, de la resina poliéster, alcanza un máximo cuando se formula con 20% de estireno.

La formulación 60/40 con 5% de PE, presenta un aumento en tenacidad.

La estabilidad dimensional, de la resina poliéster, aumenta considerablemente al agregar polietileno en polvo. A mayor cantidad de PE, menor contracción de la resina.

Con la estabilidad dimensional, se consiguió evitar el rompimiento, de la resina, durante el curado. Hecho importante, dada la calidad requerida en el acabado de los productos y la conservación de propiedades mecánicas del material compuesto.

Las propiedades mecánicas de tensión decrecen a todos los porcentajes de PE.

Existen dos formulaciones, en que, las propiedades de flexión aumentan hasta un 12.5% .

Experimentalmente, el estudio, de ángulos de contacto de resina-PE, no concuerda con los resultados de propiedades mecánicas de flexión y tensión.

Las pruebas de juntas traslapadas indican que la adhesión entre el PE y la resina poliéster es muy baja.

No existe un modelo general para explicar el comportamiento mecánico de la

mezcla resina poliéster-PE, por métodos matemáticos de regresión.

Una ventaja del uso de PE, podría ser que el polietileno empleado, fuera tipo reciclado (recuperado por proceso de pulverizado), dando con esto una aplicación al PE de basura. Además, la resina poliéster reforzada con PE, ten
dría un peso específico más bajo que con las cargas minerales.

A partir de la observación de los resultados obtenidos, se sugeriran los siguientes puntos:

- Hacer pruebas mecánicas con mayor tiempo de reacción.
- Utilizar diferentes granulometrías de PE, o diferentes formas. de estos.
- Diseñar experimentos con diferentes plásticos, (termoplásticos y termofijos), considerando más aún, aquellos que tienen una tensión superficial⁽²³⁾, más alta que el polietileno, co
mo son; cloruro de polivinilo, poliestireno, polipropileno.

7.0 BIBLIOGRAFIA

- 1.- Herman V. Boenig. Unsaturated Polyesters, Estructure and Properties, Elsevier Pub. , Amsterdam, 1964.
- 2.- W. H. Carothers, J.Am. Chem. Soc. 51,(1929) 2548
- 3.- T. F. Bradley, Ind. Eng. Chem. 29,(1937) 440
- 4.- T. F. Bradley, Ind. Eng. Chem. 29,(1937) 579
- 5.- T. F. Bradley, E. J. Kropa, and W.B. Johnston, Ind. Eng. Chem. 29, -- (1937) 1270
- 6.- J. R. Lawrence, Polyester Resins, Reichhold, N. Y. 1960
- 7.- Ricardo Vera Graziano, The Effects of High Contact Pressures and Temperatures on The Adhesion of Amorphous Polystyrene to Borosilicate Glass. - Tesis. Master Science. Case Western Reserve University. 1972
- 8.- J. J. Bikerman, The Science of Adhesive Joints. Academic Press, New York 1968.
- 9.- G. Krauss and J. E. Manson, J. Polymer Science. 6(5), 625(1950)
- 10.- A. Quarch, Pressure - Volume - Temperature Properties of Amorphous Polymer, Liquids and Glasses. Experimental and Theoretical Investigations Ph. D. Dissertation Case, Western Reserve Univ. Cleaveland, Ohio.
- 11.- N. I. Shishkin Soviet Phys. Solid State, 2,322 (1960).
- 12.- Carlos Ramos Salazar, Estudio de la Adhesión en la Interfase Refuerzo-Matriz como Parámetro Fundamental en la Optimización de Propiedades Es-

estructurales en Plásticos Reforzados. Tesis, UNAM.

13.- Felipe Parrilla C. Resinas Poliester, Plásticos Reforzados, 5a Ed. Talleres " La Ilustración", México, D.F.

14.- Vicente Rivera Moras. "Diseño y Construcción de una Prensa para el moldeo de Plásticos Reforzados a altas Presiones y Temperaturas", Tesis: UNAM.

15.- Fred W. Billmeyer, Textbook of Polymer Science. Interscience Publishers N.Y. 1962.

16.- Hebert H. Simmonds, James S. Church, A Concise Guide To Plastics, Reichhold Publishers Co. N.Y. 1963

17.- J.H. Perry, Manual del Ingeniero Químico. UTEHA, México, 1976.

18.- W. A. Zisman "Improving The Performance of Reinforced Plastics", Ind. and Eng. Chem. 57 (1), 27(1965).

19.- S.S. Voyutskii, Autohesión and Adhesión of High Polymers, Interscience-Wiley, N.Y. 1963.

20.- A. de Dani, Glass Reinforced Plastics. J. W. Arrowsmith, Bristol, Londres 2a Ed. 1963.

21.-Encyclopedia of Polymer Science And Thechnology. Vol. I, Interscience Publishers. N.Y. 1964.

22.- Koji Nakawishi, Philippa H. Solomon 2a Ed. Holden Day Inc., San Fco. L. A. (USA), 1977.

23.- Robert Milby, Plastics Technology . Mc Graw Hill Co. , N.Y. 1973.

24.- A. Padilla y Ricardo Vera , "Diseño Y Construcción de un Instrumento para la Determinación de ángulos de Contacto", Congr. de Química Pura y Aplicada, Tijuana, B. C. Julio 1978.

25.- J. Brandrup, E. H. Immergut, Polymer Handbook 2a Ed. Wiley Interscience Publication, N. Y. 1975 Section III Pags. 221-223.