



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

Caracterización de Laminados a Base de
Poliétileno, Fibras de Henequen y
Cargas Minerales.

T E S I S

Que para obtener el Título de:

INGENIERO QUIMICO

P r e s e n t a :

Felipe Arturo Soto Rangel



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.

INDICE:

- I. - INTRODUCCION
- II. - GENERALIDADES
 - Los materiales compuestos en ingeniería
 - Eficiencia de los materiales compuestos
 - Características del nuevo laminado P2-d
- III. - CONSIDERACIONES TECNICAS
 - Adhesión
 - Evaluación de la Adhesión
- IV. - PARTE EXPERIMENTAL.
 - a) Diseño experimental
 - b) Materiales
 - c) Preparación de muestras
 - d) Equipo
 - e) Pruebas mecánicas
- V. - RESULTADOS Y DISCUSION
- VI. - BREVE ESTUDIO ECONOMICO
- VII. - CONCLUSIONES
- VIII. - APENDICE BIBLIOGRAFICO.

INDICE DE FIGURAS.

Pag.

Figura

1.- Cambio de volumen con la temperatura de un polímero amorfo y uno semicristalino.	6
2.- Nuevo laminado Polietileno-Henequén.	7
3.- Variación del ángulo de contacto entre el PE y una placa de vidrio con respecto a la temperatura.	10
4.- Ángulo de contacto formado entre la superficie líquida y la del sólido.	11
5.- Gráfica esfuerzo máximo vs espesor de la junta adhesiva.	14
6.- Gráfica esfuerzo a la ruptura vs longitud de la junta traslapada.	15
7.- Diferentes formas de desprendimientos.	16
8.- Materiales del nuevo laminado.	19
9.- Prensa hidráulica	21
10.- Moldes.	21
11.- Máquina de pruebas Instron.	22
12.- Área transversal de probeta sometida a tracción.	24
13.- Dimensiones del suaje	25
14.- Dimensiones de probeta rectangular	26
15.- Gráfica esfuerzo a la tensión vs porcentaje en peso de fibra orientada en dirección al esfuerzo.	29
16.- Gráfica esfuerzo a la tensión vs porcentaje en peso de fibra orientada perpendicular al esfuerzo.	31
17.- Gráfica esfuerzo a la flexión vs porcentaje en peso de fibra.	33
18.- Representación esquemática de trabajo de adhesión y trabajo de cohesión.	43
19.- Mojado de un sustrato sólido por un adhesivo.	49

INDICE DE TABLAS.

TABLA	Pag.
1.- Resistencia a la tensión con fibras orientadas en dirección al esfuerzo.....	28
2.- Resistencia a la tensión con fibras orientadas perpendicular al esfuerzo.....	30
3.- Resistencia a la flexión.....	32
4.- Resistencia al intemperismo del laminado PE-H.....	34
5.- Resistencia a la abrasión del PE reforzado con cargas minerales.....	35
6.- Propiedades térmicas del laminado PE-H con sus contratipos y otros materiales.....	35
7.- Por ciento de absorción de agua del laminado PE-H y sus contratipos.....	36
8.- Propiedades mecánicas a la flexión del laminado PE-H y algunos contratipos.....	37
9.- Diferencia en costo del PE-H y sus contratipos.....	38.

INTRODUCCION.-

Debido al desarrollo vertiginoso que tiene actualmente la ciencia y la tecnología, se ha promovido la creación de una nueva especialidad, la ciencia de los materiales; y uno de sus propósitos consiste en diseñar y elaborar diversos materiales con características específicas y bien definidas para el uso a que se van a destinar.

Bajo los anteriores preceptos y dada la necesidad de satisfacer el mercado de aglomerados de pequeño espesor (laminados) como es el caso del fibracel o del triplay y de techos rurales (asbesto cemento, lámina galvanizada y cartón asfaltado) se ha desarrollado un nuevo material a base de polietileno, fibras cortas de henequén ó sosoc (desecho procedente del enriado) y cargas minerales. (1)

Este laminado presenta propiedades mecánicas y de resistencia al intemperismo suficientes para ser empleado en paneles divisorios, techos rurales, y/o de vivienda con la ventaja de ser un buen aislante térmico.

Este laminado denominado "PE-H" fue investigado desde nivel laboratorio hasta la escala industrial para lo cual se desarrolló un proceso semicontinuo (2) que permite una producción anual del orden de 3 millones de metros cuadrados al año de láminas onduladas para techos.

En el desarrollo de este laminado como de otros similares se consideró la utilización de recursos locales en especial de recursos renovables de zonas áridas y semi-áridas como es el caso de las fibras de henequén.

Los resultados de esta investigación inciden:

1ª.- Directamente en la diversificación del empleo de uno de los polímeros de mayor producción y más barato: "el polietileno" dentro del mercado de los materiales de construcción, y

2ª.- La diversificación misma del empleo de las fibras cortas del henequén lo cual genera un nuevo ingreso para los henequeneros.

Este laminado desarrollado en el Instituto de Investigaciones en Materiales, ha sido patentado debido a lo cual este trabajo, se limitará a señalar brevemente los métodos de elaboración y sus propiedades.

Así este trabajo, fundamentalmente, se orienta a señalar las características físicas, mecánicas y térmicas de este material compuesto. También se presenta un estudio comparativo tanto de propiedades y costos, de este nuevo material con los materiales convencionales considerados como sus contratipos: Triplay, fibracel, asbesto cemento, lámina galvanizada y cartónasfaltado.

II.- GENERALIDADES.

LOS MATERIALES COMPUESTOS EN INGENIERIA. - Básicamente un material compuesto está formado por una matriz y un refuerzo; la función de la matriz es proteger al refuerzo y transmitir los esfuerzos mecánicos al mismo; por su parte el refuerzo absorbe los esfuerzos mecánicos aumentando las propiedades del material y la estabilidad dimensional de la matriz. (3)

Mucho se ha hablado en la actualidad de los plásticos reforzados y su importancia, lo cual radica en la facilidad de preparación, reparación y propiedades que hacen que éstos sean sustitutos., en algunos casos, de la madera, vidrio o hierro; o bien para bajar costos de mantenimiento, por esto, se ha dejado mucho la aplicación de la resina termofija para emplear la resina termoplástica en forma de laminado, 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. En las primeras se encuentran :

su alta resistencia al impacto y a la humedad debido a su alta impermeabilidad, posibilidad de generar materiales anisotrópicos e isotrópicos, pigmentación durante la elaboración evitando el uso de pintura y así bajar costos de mantenimiento, buenos aislantes eléctricos, no sufren corrosión galvánica y ofrecen resistencia al ataque microbiológico, como resistencia al intemperismo. (5,6)

Dentro de las desventajas se pueden citar, el acabado imperfecto de algunos métodos de moldeo que afectan la resistencia química y mecánica. Además, contaminan el medio ambiente al no degradarse por acción biológica. (7)

EFICIENCIA DE LOS MATERIALES COMPUESTOS. -En general los refuerzos son seleccionados de acuerdo a la función que se desee desempeñar, 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 los 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 los elementos reforzantes. (8)

De aquí, que uno de los problemas más importantes de los materiales compuestos, radica en como lograr la máxima adhesión entre la matriz y el refuerzo para obtener la mayor

resistencia en la unión interfacial porque solo así es posible que las fibras distribuyan y soporten los esfuerzos debidos a las cargas a que se les somete y puedan evitar la propagación de fracturas a través de la resina. (9) Sin embargo, existen algunos factores que impiden la adhesión entre la matriz y los refuerzos. Uno de ellos, es la generación de esfuerzos debido a la contracción diferencial que se presenta entre la matriz y el refuerzo al solidificar la primera. (10) Otro factor lo constituye la concentración de esfuerzos por la falta de un contacto efectivo entre la matriz y el refuerzo cuando por un mojado deficiente, se limita la formación de una interfase continua, pudiendose capturar entre ambas fases burbujas de aire.

La contracción diferencial es un problema del par resina-refuerzo que es posible minimizarlo con el moldeo cuasi-isométrico que consiste en la aplicación de presiones externas para mantener constante el volumen específico de la resina durante el proceso de moldeo.-

Para el caso de los polímeros semicristalinos como el polietileno, 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, por lo cual no es posible controlar totalmente este cambio de volumen mediante la aplicación de presiones externas, (11) como es en el caso de los polímeros amorfos en donde sólo se presentan cambios de volumen muy pequeños al pasar de la región vítrea a la región --

viscoelástica.

Estos cambios de volumen con la temperatura tanto para polímeros amorfos como semicristalinos se puede observar en la figura(1).-

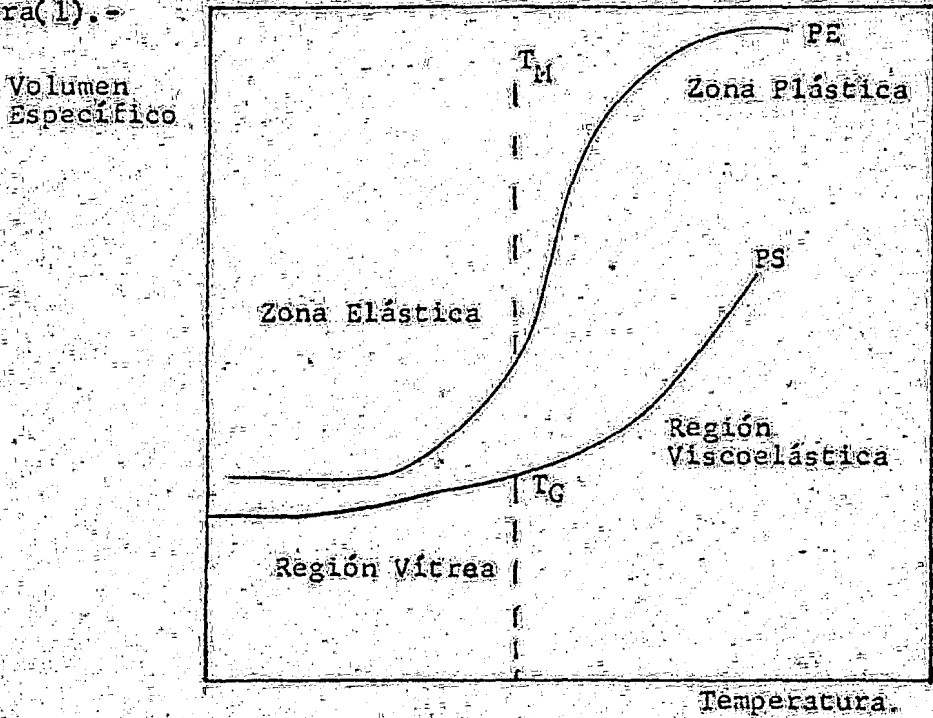


Figura 1.- Cambio de volumen con la temperatura de un polímero amorfo (PE) y uno semicristalino (PS).

El cambio de volumen específico genera esfuerzos cortantes en la interfase resina-refuerzo que tienden a disminuir por la capacidad de deformación plástica que exhiben los polímeros semicristalinos (12,13). Sin embargo, la aplicación de altas

presiones de moldeo disminuyen la concentración de esfuerzos, no tanto por mantener un volumen constante sino por que se promueve el mojado de la resina sobre el refuerzo.

CARACTERISTICAS DEL NUEVO LAMINADO POLIETILENO-HENEQUEN.

En el caso del laminado Polietileno-Henequén, el polietileno juega el papel del elemento aglomerante (matriz) y las fibras de henequén, como las cargas minerales, funcionan como elementos de refuerzo.

Las cargas minerales funcionan como agentes de relleno mejorando la resistencia a la flexión, la resistencia a la abrasión y además, proporciona un aumento en la resistencia al intemperismo del material, con lo cual se soluciona la baja resistencia del polietileno al intemperismo. (ver figura 2)

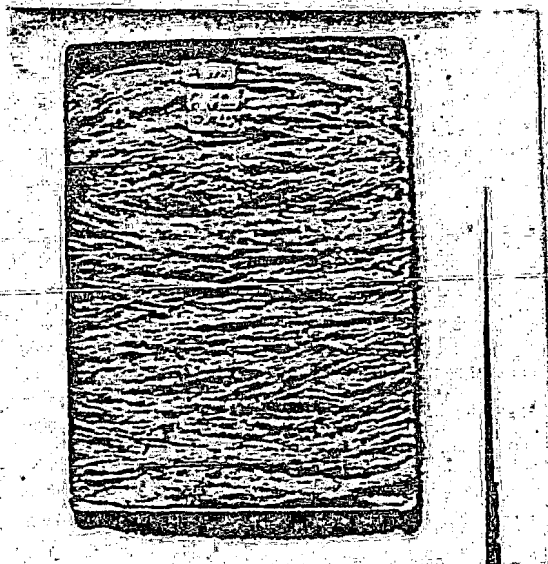


Figura 2. - NUEVO LAMINADO POLIETILENO-HENEQUEN

III. -CONSIDERACIONES TEORICAS.

Para explicar la adhesión se han propuesto tres teorías -- a saber, la de la adsorción, la electrostática y la de difu-- sión.

La primera teoría presenta el fenómeno de la adhesión co-- mo un proceso puramente interfacial en el que se manifiesta la adsorción de segmentos de moléculas del adhesivo en la superfi-- cie del adherente, en donde la interfase de las fuerzas molecu-- lares (fuerzas de van der waals) son las responsables de la -- resistencia de la unión.

La teoría electrostática, está basada en el fenómeno de -- atracción electrostática que ocurre al estar en contacto dos -- dieléctricos o bien un metal y un dieléctrico.

La teoría de la difusión en la adhesión de polímeros se -- ha aplicado solamente a la adhesión entre polímeros, así como -- a la autoadhesión (cohesión entre ellos) y se reduce a consi-- derar que la difusión de largas cadenas de moléculas o la de s -- sus segmentos individuales dan como resultado una fuerte unión -- entre el sustrato y el adhesivo. Esta teoría esta basada básic -- camente, en la consideración de la estructura y flexibilidad de -- las cadenas poliméricas, así como en la facilidad de exhibir mo -- vimientos macrobrownianos. (14)

Para nuestro caso especial la adhesión entre el polie --

tileno, la fibra y la arena es viable de explicarse a través de la teoría de la adsorción ya que como se señaló anteriormente, ésta propone que el logro de una buena adhesión requiere de la existencia de un buen contacto intermolecular en la interfase dado 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.

Así mismo la teoría de la adhesión permite explicar termodinámicamente los fenómenos de la adhesión: trabajo de adhesión y mojado, (vease apéndice A).(15)

Como señalamos, en muchos casos, dos materiales se adhieren debido a fuerzas secundarias de Van Der Waals que suceden entre el átomo, iones o moléculas de dos superficies diferentes, estas fuerzas secundarias actúan a pequeñas distancias; por ejemplo si dos sólidos A y B tienen superficies lisas y se formara un vacío perfecto entre ellas se logrará la máxima adhesión; sin embargo, la superficie real difiere de estas condiciones ideales, es decir, son de topografía rugosa lo que contribuye a disminuir el área real de contacto y por consiguiente, el grado de adhesión. Por lo que si queremos conseguir una adhesión fuerte entre A y B, debemos aumentar el área real de contacto, es decir, un material de ellos deberá conformar la superficie topográfica del otro; esto implica que uno de los materiales deberá fluir cuando se encuentre en contacto con el otro; en otras palabras que el que se adhiere de

be mojar al adherente.

El máximo mojado se logrará cuando el ángulo de contacto entre la fase líquida y sólida sea mínima o sea que tiende a cero. (vease figura 3)

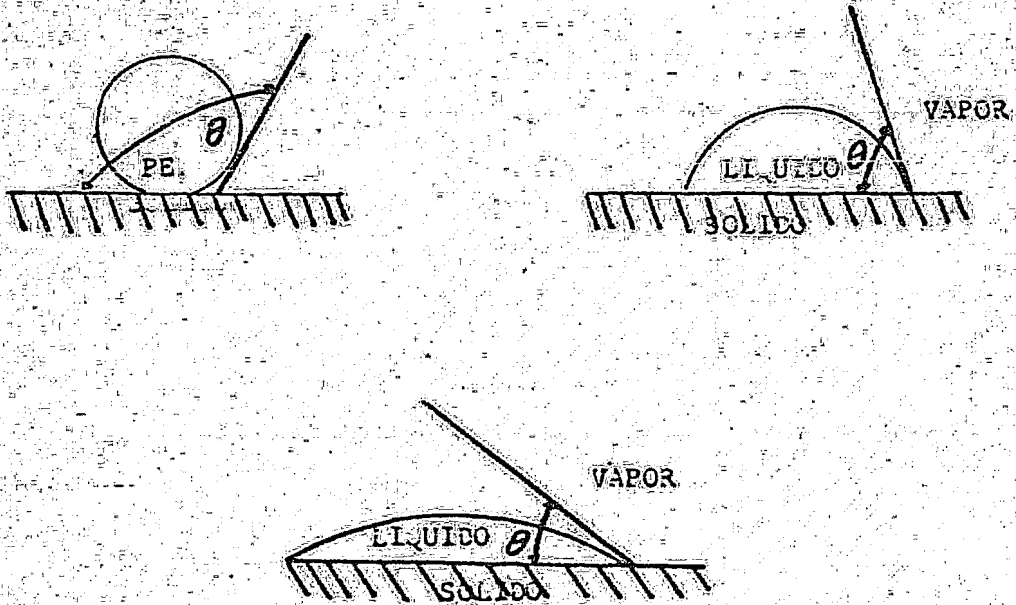


FIGURA 3. - Variación del ángulo de contacto entre el polietileno y una placa plana de vidrio con respecto a la temperatura. a) Se presenta el PE en contacto con la placa y se observa un ángulo θ mayor de 90° . b) la temperatura a aumentado y el ángulo θ es ahora menor de 90° . y c) - El PE completamente fundido tiene un ángulo θ mucho menor de 90° .

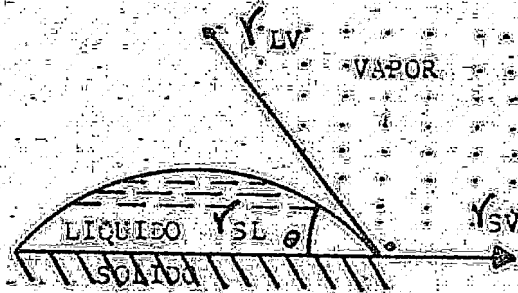


Figura No.4 ANGULO DE CONTACTO FORMADO ENTRE LA SUPERFICIE LIQUIDA Y LA DEL SÓLIDO.

Así el ángulo de contacto deberá ser usado como una medición del grado de mojado logrado, que aumenta conforme disminuye el ángulo tal y como se muestra en la siguiente ecuación.

$$\frac{S}{L/S} = \frac{F_{S^{\circ}}}{S^{\circ}} - \frac{F_{SV^{\circ}}}{SV^{\circ}} - \frac{F_{LV^{\circ}}}{LV^{\circ}} (1 - \cos \theta)$$

donde:

$F_{S^{\circ}}$ es la energía libre de superficie del sólido en el vacío, $F_{SV^{\circ}}$ es la energía libre de superficie del sólido en contacto con el vapor saturado del líquido y $F_{LV^{\circ}}$ la energía libre de superficie o tensión superficial del líquido saturado con su vapor.

En resumen, para tener una buena adhesión deberá incrementarse el grado de mojado para tener una mayor área de contacto real y disminuir la concentración de esfuerzos en la interfase.

EVALUACION DE LA ADHESION. - Las pruebas para evaluar el grado de adhesión están basadas en dos tipos de mediciones; una de ellas es el esfuerzo último y la otra, la energía de superficie en la falla. (14) Sin embargo, hay muchos ensayos que miden cantidades relacionadas con el grado de adhesión pero que no pueden dar los resultados como un valor de energía de superficie o de esfuerzo, sino en otros términos; por ejemplo, la fuerza necesaria para sacar la cuerda del hule de un neumático o la fuerza por unidad de longitud requerida para desprender un recubrimiento.

Los resultados de la evaluación del grado de adhesión dependen fuertemente de tres variables a saber: composición de los componentes de la unión (o junta), métodos de formación de la junta y condiciones de prueba.

Generalmente la resistencia de la unión depende de la rapidez de prueba, temperatura de prueba y de la geometría misma de la unión.

El efecto de estas variables en los resultados de prueba de adhesión, es mucho más complicado que en las pruebas de resistencia cohesiva (resistencia a la tensión exfoliación). En las pruebas de adhesión estas variables pueden influir ya sea en el comportamiento reológico de los diferentes componentes de la junta o en la unión de la distribución de esfuerzos y en la interacción de fuerzas en la interfase.

Otro factor complicante es que no existe una suficiente información de los valores numéricos del esfuerzo último o de la energía de superficie en la falla para una interpretación de la prueba.

Resulta importante también conocer en que lugar ocurre la falla es decir, si es en alguno de los componentes de la unión (falla cohesiva) o en la interfase (falla adhesiva).

El objeto principal de este inciso es mostrar alguno de los métodos empleados para la determinación de la adhesión y sus limitaciones.

Las juntas que se usan para evaluar el grado de adhesión en estas pruebas a través del esfuerzo último en la unión son: la junta a tope y la junta traslapada. La primera se emplea cuando el adhesivo es débil y tiene un módulo mucho más bajo que el sustrato, tal y como se muestra en la figura 5.

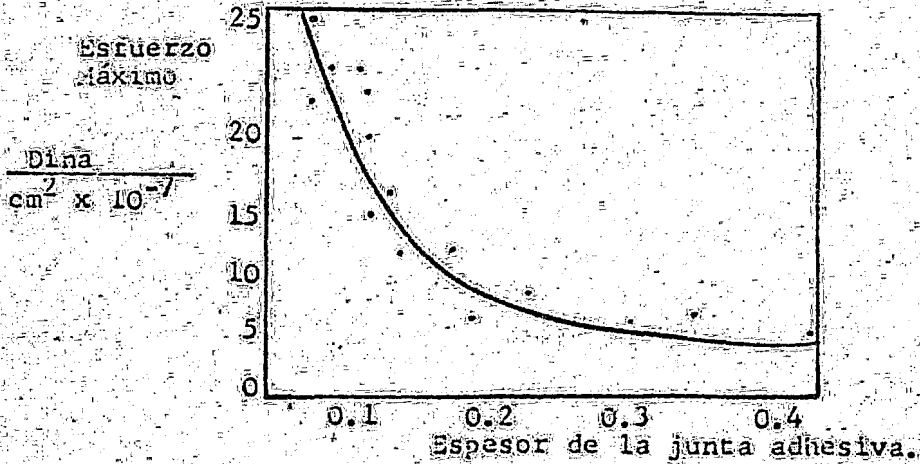


Figura 5.- Efecto del espesor de la junta adhesiva al serle aplicada una rapidez de carga constante.

La característica de esta prueba es que el decremento de la capa adhesiva incrementa la resistencia última a la unión, ocurriendo que a espesores muy delgados la resistencia última de la junta excede la resistencia última a la tensión del adhesivo.

Esto es debido a que los adherentes detienen la contracción del adhesivo en dirección perpendicular a que se aplica la carga.

La junta traslape es la más conveniente para medir la adhesión en corte ya que los esfuerzos son distribuidos irregularmente sobre la junta traslapada debido a que en la cara los esfuerzos son mucho más grande que los esfuerzos promedio.

El esfuerzo promedio se calcula dividiendo la carga aplicada entre el producto del ancho de la muestra y de la longitud del traslape. - Con el incremento de la longitud de traslape, la fuerza de ruptura incrementa y el esfuerzo decae tal como se muestra esquemáticamente en la figura 6.

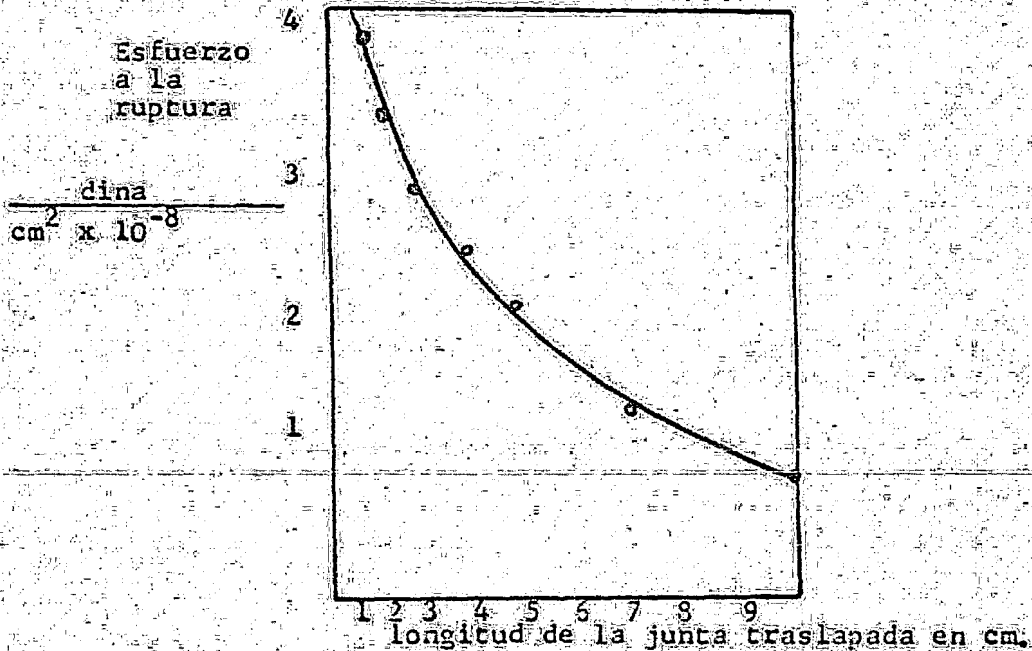


Figura 6.- Efecto de la longitud de la junta traslapada en el esfuerzo a la ruptura.

A diferencia de las juntas tope la resistencia a la ruptura incrementa con el espesor del adhesivo.

En lo que respecta a las pruebas en las que se mide la energía de superficie en la unión, éstas están basadas en la prueba de desprendimiento, que pueden ser clasificados desde el punto de vista del ángulo de desprendimiento como se muestra en la figura 7.

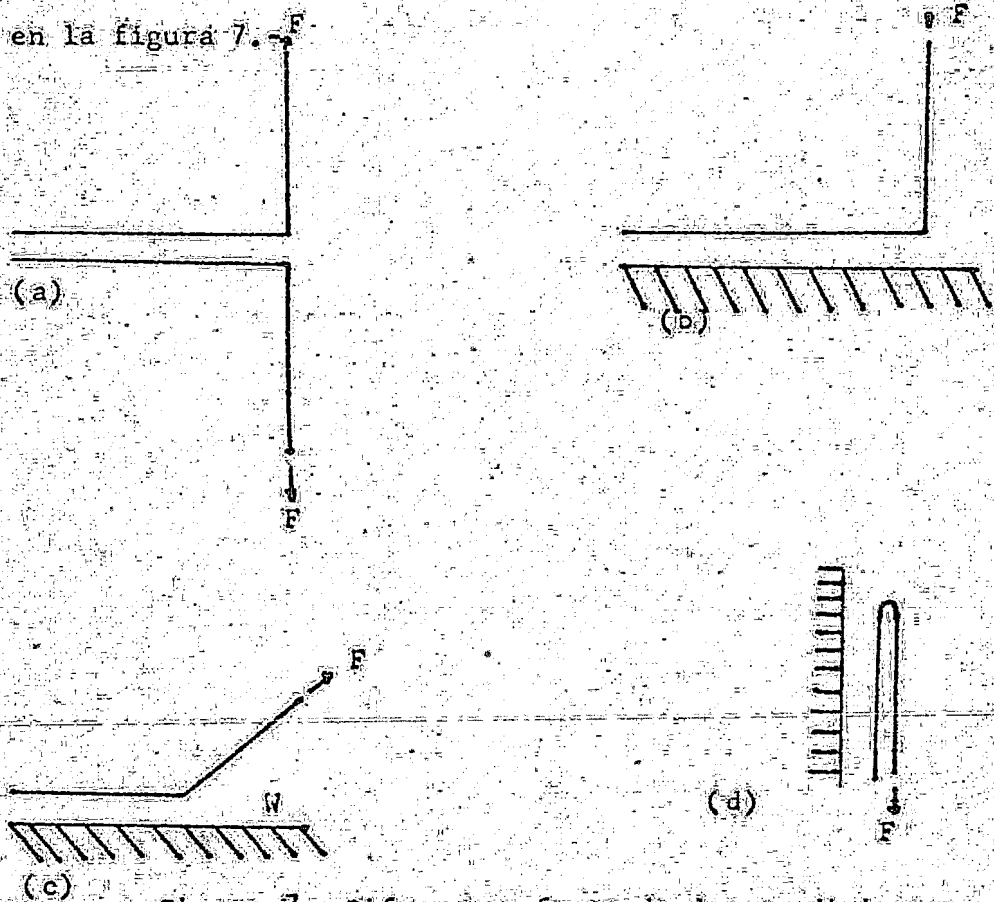


Figura 7.- Diferentes forma de desprendimientos

- (a)-Desprendimiento en T con dos adherentes flexibles.-(b)Desprendimiento en L con un adh.flexible y otro rígido.-(c)De-- muestra el ángulo de desprendimiento.-(d)desprendimiento en 180° .

La prueba T de desprendimiento es la más conveniente debido a la facilidad de preparar las muestras y de la disponibilidad en un buen número de máquinas de prueba, que pueden ser usadas sin modificación. Sin embargo, la alimentación de este ensaye es que ambos adherentes deben ser flexibles. Si uno de los adherentes es rígido es mejor emplear el ensaye a 180° aunque con la desventaja de que el adherente flexible puede doblarse o torcerse durante el transcurso de la prueba y dar resultados erróneos. Otra prueba es la prueba L donde el ángulo de formación es de 90° y es preferida por razones teóricas.

Resumiendo, se aprecia que es evidente que los resultados que se obtendrán en las pruebas de adhesión para los polímeros, dependerán de muchas variables de ensaye. Generalmente los valores de resistencia o adhesión no son cantidades absolutas puesto que dependen de las condiciones de la prueba y de la perfección de las muestras.

Existen como ya se había señalado anteriormente, otros métodos de prueba relacionados con el grado de adhesión.

Dado que esto se manifiesta en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del material reforzado, se optó por determinar para el caso del laminado polietileno-henequén, las propiedades mecánicas de tensión y flexión, así como la evaluación de adhesión entre la fibra de henequén y el polietileno mediante la prueba de Desprendimiento.

IV. - PARTE EXPERIMENTAL

A. - DISEÑO EXPERIMENTAL

Como primera parte del estudio, se determinó la adhesión entre el polietileno y la fibra mediante la prueba de desprendimiento y se compararon los resultados con los obtenidos al ensayar con el polietileno y fibra de vidrio y polietileno y fibra de nylon. - Como segundo punto se determinó el efecto del contenido (% en peso) y de la orientación de las fibras en las pruebas mecánicas del material en especial en su resistencia a la tensión y flexión .

Para la elaboración del laminado a base de polietileno, fibras de henequén y arena, se varió la cantidad de fibra presente en la muestra con el objeto de encontrar la cantidad que optimiza las propiedades mecánicas del laminado, -- así como la mejor orientación de las fibras. - Se estudio el efecto de las condiciones de moldeo: presión, temperatura de moldeo, tiempo de residencia.

En el laminado optimizado, se evaluaron propiedades como conductividad térmica, resistencia al intemperismo, absorción de agua etc.

B). - MATERIALES.

Poliétileno. - Con una densidad de 0.91 g/cm^3 determinada por picnometría y con temperatura de fusión de 115°C . determinada por calorimetría diferencial. (figura 8.)

Henequén. - Fibras cortas de longitud media de 15 ± 3 cm., compactadas azarosamente en forma de colchón con una densidad aparente de 0.512 g/cm^3 . (figura 8.)

Areña. Del tipo sílica, con una granulometría de 80-90 mallas y una densidad aparente de 1.45 g/cm^3 . (figura. 8.)

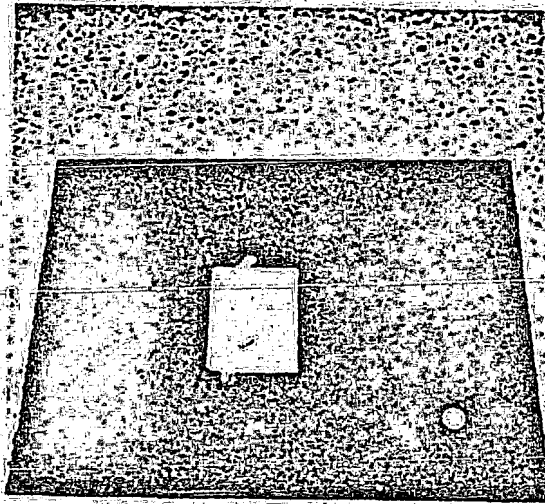


Figura 8.- Materiales del nuevo laminado.

C). - PREPARACION DE MUESTRAS. °

Se utilizó una prensa con moldes en los cuales se colocan una capa de polietileno, una capa de henequén (en fibra) y una capa de la mezcla arena-polietileno. Este se prensó y calentó a una temperatura de 140°C , temperatura a la cual se inicia el tiempo de moldeo, con un tiempo de residencia de 15 minutos y una presión de 13 Kg/cm^2 para después, enfriar manteniendo la presión y garantizando con esto, el espesor deseado.

Como la temperatura de fusión del polietileno es del orden de 115°C y la temperatura que se ocupó es de 140°C es suficiente para el fundido completo del polietileno sin peligro de que se inicie degradación evitando se quemé la fibra de henequén.

D). - EQUIPO. -

El equipo que se utilizó para la elaboración de las muestras consistió de una prensa hidráulica con una capacidad de 20 toneladas que se aplica sobre un área de trabajo de 400 cm^2 . (figura 9)

El sistema de calentamiento que se usó es por medio de una resistencias eléctricas que nos proporcionaron 1800 watt-hora. Un control automático de temperatura de 0 a 400°C , un sistema de enfriamiento por medio de agua en las platinas.

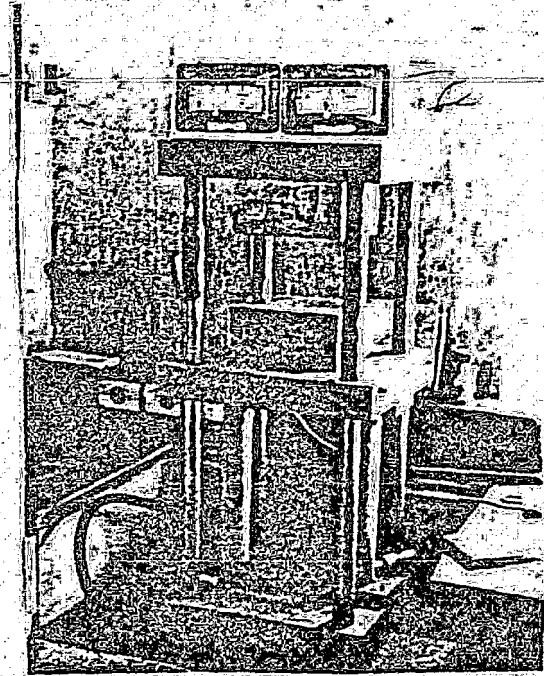


Figura 9. - PRENSA HIDRAULICA.

Se usó un molde tipo macho-hembra de acero con su propio sistema de enfriamiento que puede soportar presiones menores de 1000 Kg/cm^2 en un área efectiva de operación de 234 cm^2 y entradas para termopares en ambas placas. (figura 10)

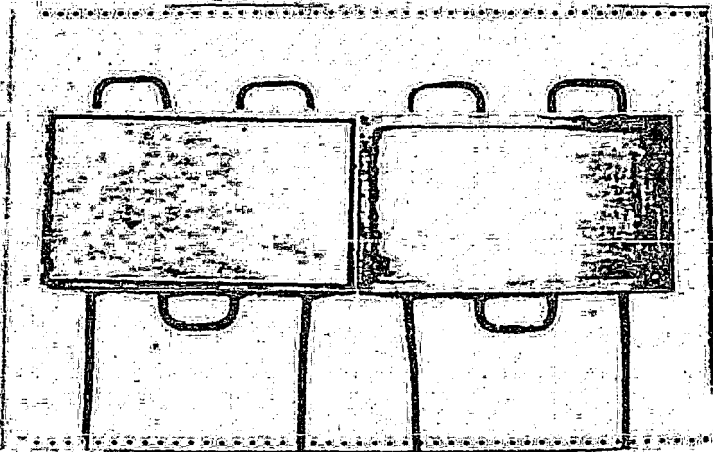


Figura 10. MOLDES.

Para el tipo de pruebas mecánicas se empleó una máquina de pruebas Universal Instron 1125 con control automático de velocidad de carga. (figura No. 11)

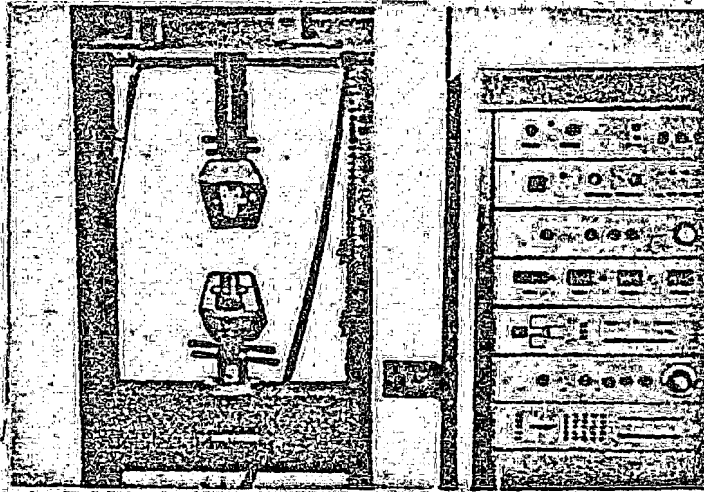


Figura No. 11 Máquina Instron.

E) PRUEBAS MECANICAS.

Una de las pruebas mecánicas que se realizaron en este estudio fué el ensaye a tensión, en la cual se calcula la siguiente variable.

El esfuerzo a la tracción se define como la relación de la carga máxima "F" aplicada a la muestra sobre la sección transversal "A" (figura 12) y cuya expresión matemática es la siguiente:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Para pruebas a tensión se obtienen probetas que son cortadas con un suaje según la norma ASTM D-638-34T. (figura 13)

La otra propiedad mecánica es el ensaye a la flexión, en la cual se calculan las siguientes variables:

1.- La resistencia a la flexión obedece la siguiente expresión matemática:

$$R_f = \frac{3 F L}{2 a e^2}$$

donde:

F - carga a la ruptura en Kg.
L - claro entre soportes en mm.
a - ancho medio en mm.
e - espesor medio en mm.

2.- La resistencia al corte obedece la siguiente ecuación:

$$R_c = \frac{3}{2} \frac{F}{a e}$$

donde:

F - carga a la ruptura en Kg.
a - ancho medio en mm.
e - espesor medio en mm.

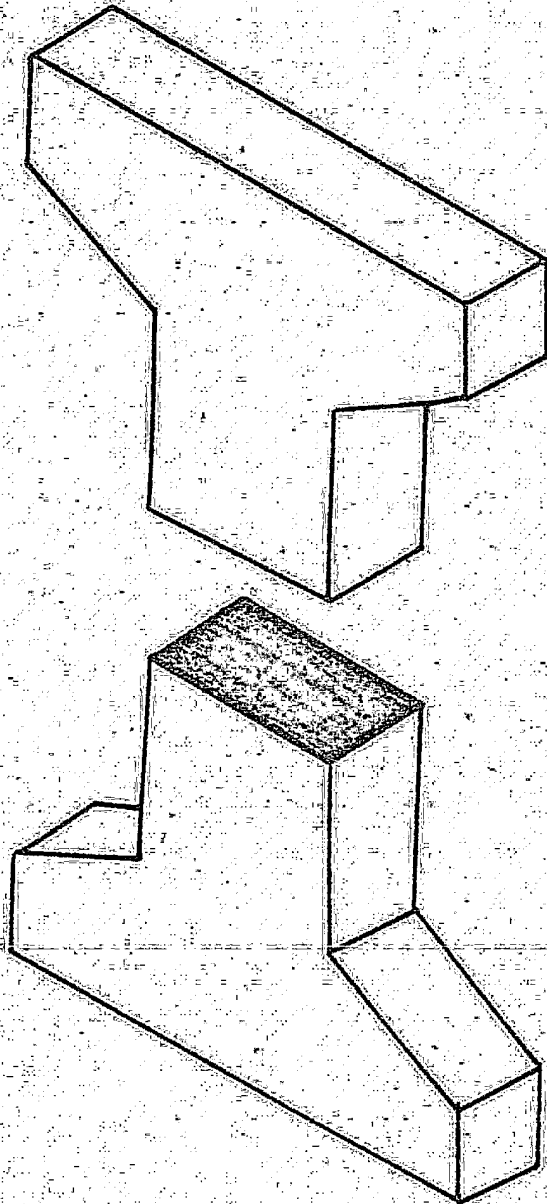
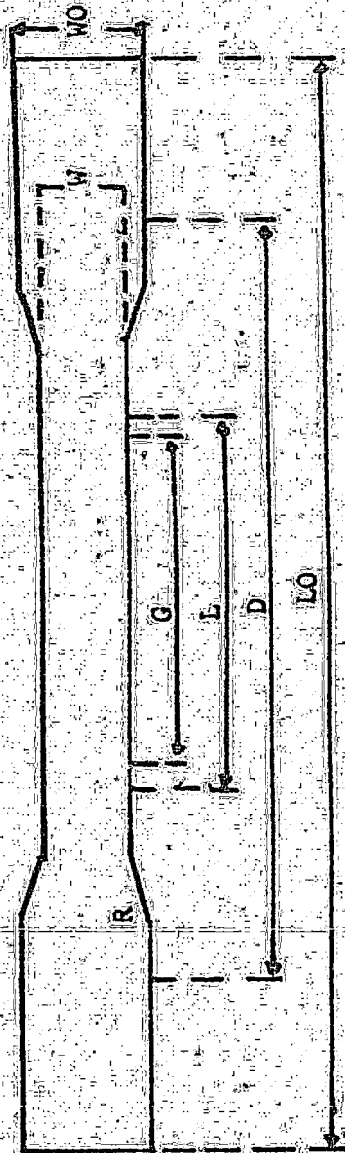


Figura No.12 Área transversal de probeta sometida a tracción (región oscura).



DIMENSIONES	MILIMETROS
W	13
L	57
W ₀	19
L ₀	165
G	50
D	115
R	76

Figura No. 13.- Dimensiones del suaje y que corresponden a una probeta.

Para el ensayé a flexión de cada muestra se obtienen --
probetas rectangulares que son cortadas de acuerdo a la norma
ASTM D-790/71 (figura 14) y el espesor de la probeta se de--
terminó según la norma oficial.

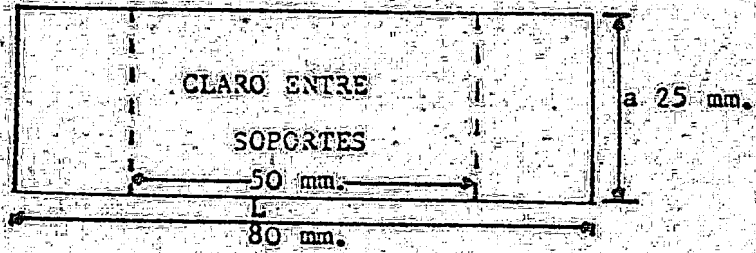


Figura No. 14.-Dimensiones de probeta rectangular.

V.- RESULTADOS Y DISCUSION.-

En la elaboración del laminado a base de polietileno, fibra de henequén y arena, se varió como se menciona anteriormente, la cantidad de fibra y la orientación de las mismas, así como ciertas condiciones de moldeo.

Al efectuarse las pruebas mecánicas en los laminados, éstas arrojaron los siguientes resultados que se analizan a continuación.

En relación a la temperatura de moldeo, inicialmente se trabajó con 120, 140 y 150°C. -Se observó que a una temperatura de 120°C no existía un fundido total y no se mojaba la fibra, a 150°C se notó que las muestras obtenidas presentaban fibras quemadas aunque con un mojado bastante aceptable. - Por lo que se decidió emplear la temperatura de 140°C que garantizaba el fundido del polietileno en su totalidad y por ende el mojado de todas las fibras, además no se quemaban estas últimas.

El tiempo de residencia que se usó fue de 15 minutos debido a que en menos tiempo con las variables mencionadas, no se obtenían laminados apropiados ya que presentaban zonas faltas de adhesión. - A Mayor tiempo se presentó el problema de la fibra quemada.

Una vez fijadas las condiciones de presión, temperatura de moldeo y el tiempo de residencia se realizaron los ensayos mecánicos de tensión y flexión variando la orientación de las fibras. - Para esto se elaboraron laminados con composiciones diferentes. (% de fibra)

Los resultados obtenidos con respecto a la resistencia a la tensión se presentan en las Tablas 1 y 2 y en las figuras 15 y 16.

TABLA No. 1

ENSAYE A TENSION

ORIENTACION .- Dirección al esfuerzo.

PORCENTAJE	ESFUERZO A LA TRACCION
%	Kg/cm ²
0	14.41
10	24.48
20	35.64
30	22.22
40	13.25

Esfuerzo
a la
tensión.
Kg/cm²

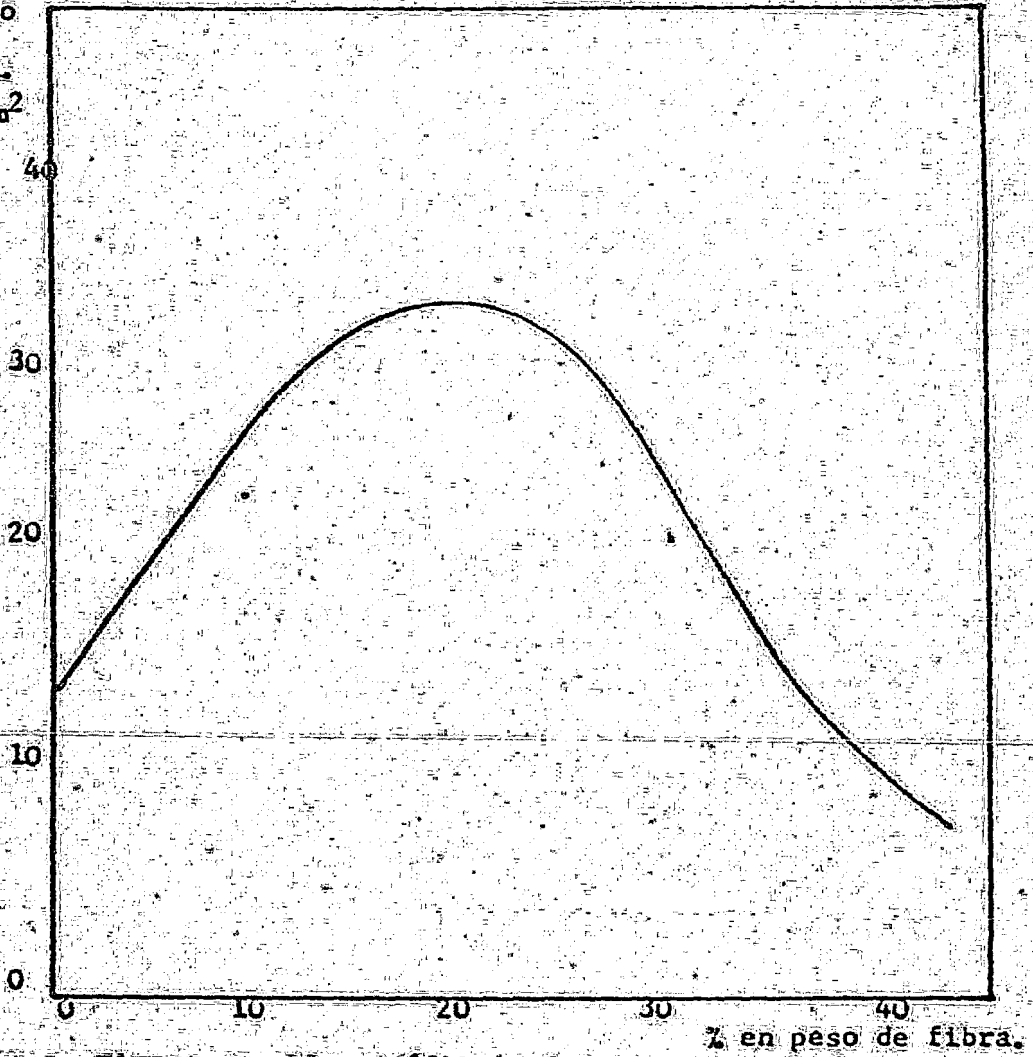


Figura No. 15.- Gráfica esfuerzo a la tensión-porcentaje en peso.

TABLA N.º.2

ENSAYE A TENSION

ORIENTACION- Perpendicular al esfuerzo.

Porcentaje %	Esfuerzo a la Tracción Kg/cm ²
0	0.6225
10	0.863
20	0.962
30	0.924
40	0.866

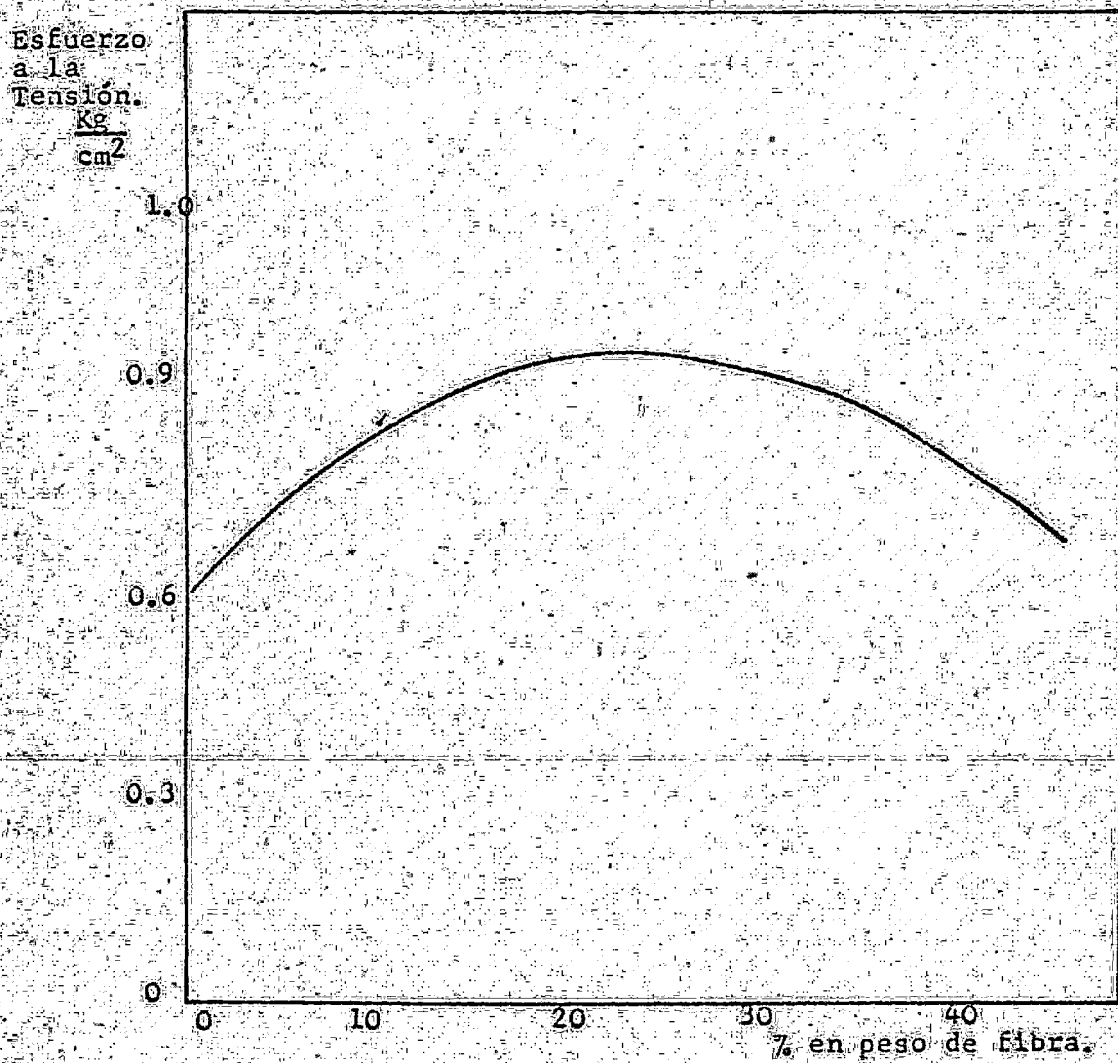


Figura No. 16.- Gráfica esfuerzo a la tensión-porcentaje en peso.

Como se puede observar en la tabla 1, 2 y figura 15 y 16, la resistencia a la tensión se incrementa gradualmente con el % de fibra, hasta llegar a un máximo correspondiente al 20% - respectivamente, después del cual la resistencia a la tensión empieza a decaer. - Este decaimiento, se puede explicar en el sentido de que existe un exceso de fibra con respecto a la cantidad de polietileno, por lo cual no es posible lograr una adhesión o formar una interfase entre la fibra y el polietileno, lo que origina el decaimiento de las propiedades mecánicas.

De acuerdo a los resultados anteriores se obtiene mejor rendimiento en las muestras con fibras orientadas en dirección al esfuerzo que con las fibras orientadas perpendicular al esfuerzo debido a que éstas actúan dando mayor resistencia.

Los resultados de resistencia a la flexión para estos mismos laminados se presentan en la tabla 3 y figura 17.

TABLA No. 3. ENSAYE A FLEXION.

PORCENTAJE %	RESISTENCIA A LA FLEXION Kg/cm ²
0	192.43
10	228.26
20	266.33
30	310.26
40	341.58
45	362.86
50	340.93

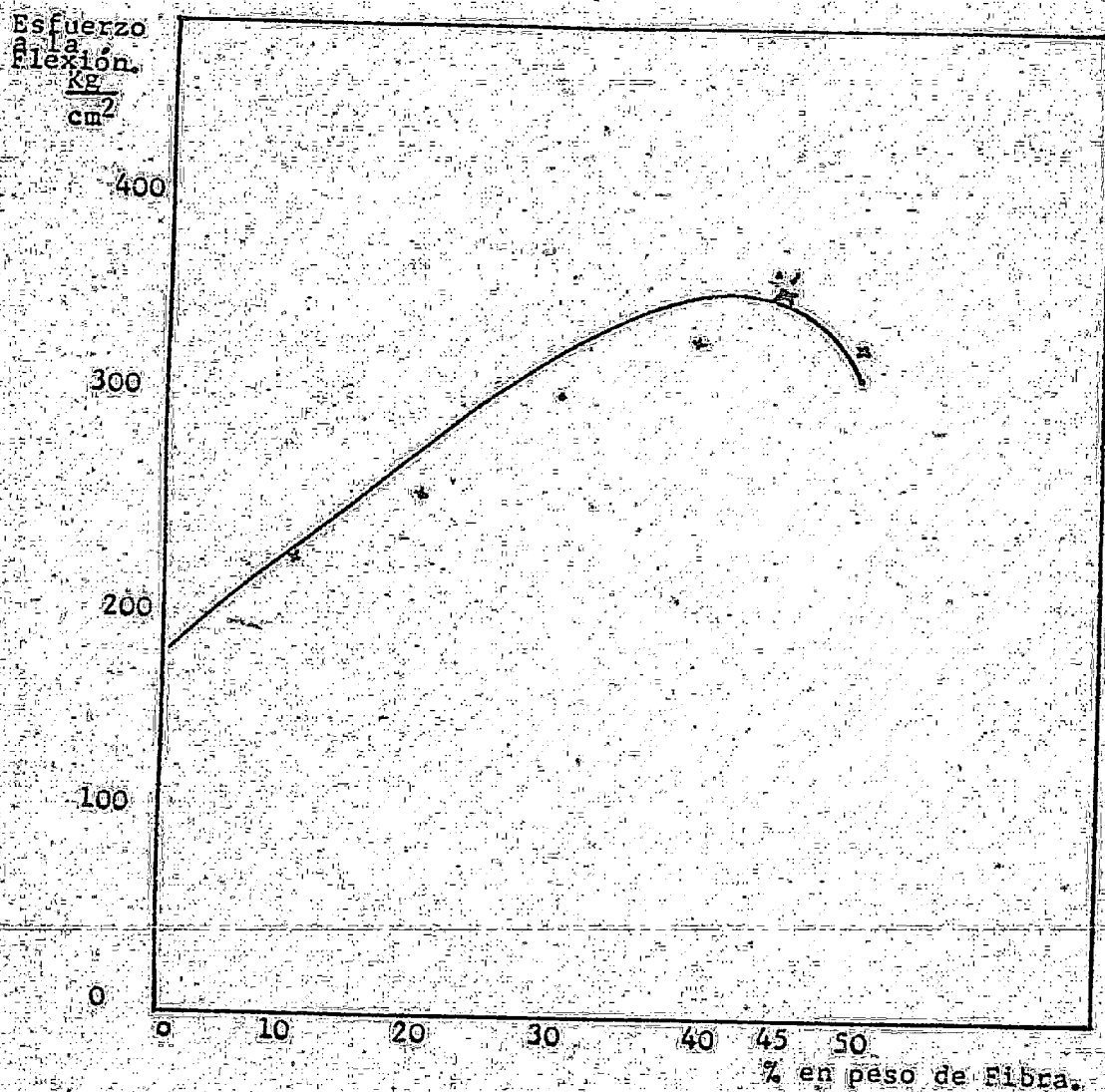


Figura No.17 Gráfica esfuerzo a la flexión-% en peso .

Como se puede observar en la tabla 3 y figura 17 la resistencia a la flexión se incrementa gradualmente con el porcentaje de fibra, hasta llegar a un máximo correspondiente al 45%, después del cual la resistencia a la flexión empieza a decaer. Este decaimiento se puede explicar en la misma forma que en el caso de tensión.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos de tensión y flexión, se puede decir que se dispone de un nuevo laminado con posibilidades de uso en la industria de la construcción principalmente.

Otro resultado interesante fue la resistencia al intemperismo demostrando que el polietileno reforzado con fibras naturales y cargas minerales sobrepasó sin sufrir degradación observable simulaciones de 5 años para las condiciones climáticas de la ciudad de México.- Este resultado representa un incremento del 500% en la resistencia al intemperismo tal como se muestra en la tabla No. 4.

TABLA no. 4 RESISTENCIA AL INTEMPERISMO DEL LAMINADO PE-H

MATERIAL	RESISTENCIA A LA RADIACION ULTRAVIOLETA
Polietileno sin cargas minerales.	Alrededor de 1 año.
Polietileno reforzado con cargas minerales	Mayor a 5 años.

También se practicaron pruebas de resistencia a la abrasión y los resultados obtenidos se muestran en la tabla No. 5.

TABLA No. 5 RESISTENCIA A LA ABRASION DEL PE "REFORZADO" CON CARGAS MINERALES.

MATERIAL	RESISTENCIA A LA ABRASION PERDIDA EN VOLUMEN. cm ³
Poliétileno reforzado sin cargas minerales	0.625
Poliétileno reforzado con cargas minerales.	0.454

Con respecto a las propiedades térmicas, por ciento de absorción de agua y propiedades mecánicas de este nuevo lamina do PE-H y sus contratipos usados en la industria de la construcción se muestran en las siguientes tablas No. 6, 7 y 8).

TABLA No. 6 PROPIEDADES TERMICAS DEL LAMINADO PE-H DE SUS CONTRATIPOS Y OTROS MATERIALES.

MATERIAL	ESPESOR. mm.	CONDUCTIVIDAD TERMICA Kcal/h°C. CM.
Laminado PE-H	9	0.060
Asbesto cemento	6	0.640
Cartón corrugado	4	0.055
Pino	6	0.129
Corcho.	12.7	0.037

Como se puede apreciar es un buen aislante térmico y puede ser utilizado en la industria de la construcción (casas-habitación) en lugares de climas extremos.

De acuerdo con las pruebas realizadas de por ciento de absorción de agua, los resultados obtenidos se muestran a continuación en la tabla No. 7 en la cual podemos ver que este laminado PE-H es superior de acuerdo a su construcción, ya que absorbe menos cantidad de agua con respecto a sus contratipos.

TABLA No. 7 POR CIENTO DE ABSORCIÓN DE AGUA.

MATERIAL	ABSORCIÓN DE AGUA	
	24 Hrs.	48 Hrs.
LAMINADO PE-H	2.0	2.1
FIBRAGEL	38 - 183	43 - 188
TRIPLAY	61 - 64	62 - 66
CARTON ASFALTADO	20 - 25	24 - 30
ASBESTO CEMENTO	14 - 20	20 - 25

Las propiedades mecánicas a la flexión del laminado PE-H y algunos de sus contratipos usados en la industria de la construcción se muestran en la tabla No. 8 y como se puede apreciar el laminado de PE-H es superior con respecto a los demás materiales que en esta tabla se señalan.

TABLA No. 8 PROPIEDADES MECANICAS A LA FLEXION DEL LAMINADO PE-H Y ALGUNOS DE SUS CONTRATIPOS.

MATERIAL	ESPESOR mm	RESISTENCIA A LA FLEXION Kg/cm ²
LAMINADO PE-H	6	343
FIBRACEL	5	303
TRIPLAY	6	309
CARTON ASEALTADO	4	86
ASBESTO CEMENTO	5	326

VI.- BREVE ESTUDIO ECONOMICO

Desde el punto de vista industrial, los costos del laminado son el factor más importante, ya que de esto depende el margen de ganancia que se pueda obtener del producto. Por esto, es preciso obtener un material que tenga un costo de producción bajo, para que se pueda competir en el mercado ventajosamente. Además, de que cumpla con las condiciones mínimas técnicas, (resistencia mecánica, absorción de agua etc.).

Teniendo en cuenta los costos de las materias primas, se estimó un costo de \$ 110.00 metro cuadrado de este laminado, de un espesor de 6 mm., comparado con sus contratiempos, se puede ver la siguiente tabla No.9.

TABLA No. 9.

MATERIAL	COSTO POR METRO CUADRADO.
ASBESTO CEMENTO	\$ 466.05 m ²
LAMINA GALVANIZADA	274.25
FIBRACEL	268.45
TRIPLAY	402.68
CARTON ASFALTADO	40.18
LAMINADO	110.00

El impacto económico derivado de la aplicación de esta tecnología se manifestará particularmente, en la elaboración de elementos para la industria de la construcción (como son techos, paneles, plafones, etc.,) implicando un consumo masivo del polímero. Por ejemplo, la instalación de una planta para fabricar laminados a base de polietileno y henequén, con una producción de 8000 m²/día requiere aproximadamente 10.5 ton.PE/día lo cual representa un consumo anual de 3150 toneladas.

Una segunda aplicación de esta tecnología radica en la industria de troquelado y moldeado para la fabricación de envases para frutas y otros, casetones para la industria de la construcción, canales de riego abiertos e incluso objetos de empleo específico como son incubadoras para huevos de tortugas, etc.

VII. CONCLUSIONES.

La técnica a seguir para la elaboración de este nuevo laminado PE-H y los resultados obtenidos, se basó en la incorporación de fibras naturales (henequén) y cargas minerales (arena). Logrando que esta investigación incidiera principalmente, en el empleo de uno de los polímeros de mayor producción y más baratos: el polietileno. Debido a que dentro del mercado de los materiales para la construcción, su empleo está restringido al igual que para otros polímeros; ya que el empleo principal del polietileno en la industria, es para empaques y embalajes empleados en la elaboración de productos de tiempo de servicio corto y los cuales son normalmente desechados de inmediato.

Dentro de esta investigación a la conclusión que se llegó al evaluar el tipo de adhesión, fue que ésta es de tipo mecánico de acuerdo con el procesamiento y los resultados obtenidos en las pruebas.

En la orientación de las fibras se llegó a la conclusión de que dan mejor resultado aquellas que están orientadas en dirección al esfuerzo.

En las resistencias a la tensión y a la flexión, se debe señalar que se obtienen mejores resultados en los ensayos a la flexión que en los de tensión; lo que está de acuerdo con nuestros objetivos dentro de los usos a que se va a destinar este nuevo laminado.

Las propiedades mecánicas de este laminado PE-H son superiores a la de los materiales que se pueden considerar como sus contratipos como son triplay, fibracel, láminas de cartón asfaltado y asbesto.

También el laminado PE-H presenta algunas otras ventajas sobre dichos contratipos como el ser un buen aislante térmico, lo cual permite su empleo en el diseño de viviendas económicas y/o rurales con la seguridad de un gran confort térmico, muy apreciado sobre todo en regiones de clima extremo.

Y, además de este laminado PE-H tiene sus ventajas con respecto a sus contratipos en las pruebas de por ciento de absorción de agua ya que absorbe pequeñas cantidades de agua en periodos de tiempos largos no comparados con los materiales que se especifican en tablas anteriores.

APENDICE "A".

TRABAJO DE ADHESION. (15)

Termodinámicamente, el trabajo máximo reversible de adhesión por unidad de área, W_{adh} , entre dos materiales A y B está dado por la ecuación:

$$W_{adh} = F_A + F_B - F_{AB} \quad (1)$$

donde las F 's son las energías libres de superficie de A, de B y de la interfase AB. Físicamente, como se ilustra en la Figura 1a, W_{adh} es el trabajo requerido para crear las superficies A y B y destruir la interfase AB.

Para el caso de un líquido L, en contacto con la superficie plana de un sólido S, el trabajo de adhesión se puede expresar como:

$$W_{adh} = F_{S^0} + F_{LV^0} - F_{SL} \quad (2)$$

donde F_{S^0} es la energía libre de superficie del sólido en el vacío, F_{LV^0} la energía libre de superficie o tensión superficial del líquido saturado con su vapor y F_{SL} la energía libre de la interfase sólido-líquido.

La evaluación del W_{adh} implica la determinación de F_{S^0} , F_{LV^0} y F_{SL} . Actualmente solo existen métodos para medir directamente la energía libre de superficie del líquido, incluso para polímeros en estado líquido, siendo prácticamente imposible medir experimentalmente las dos restantes. Sin embargo, cuando el líquido no moja por completo al sólido, o sea que forma ángulos mayores de cero grados con

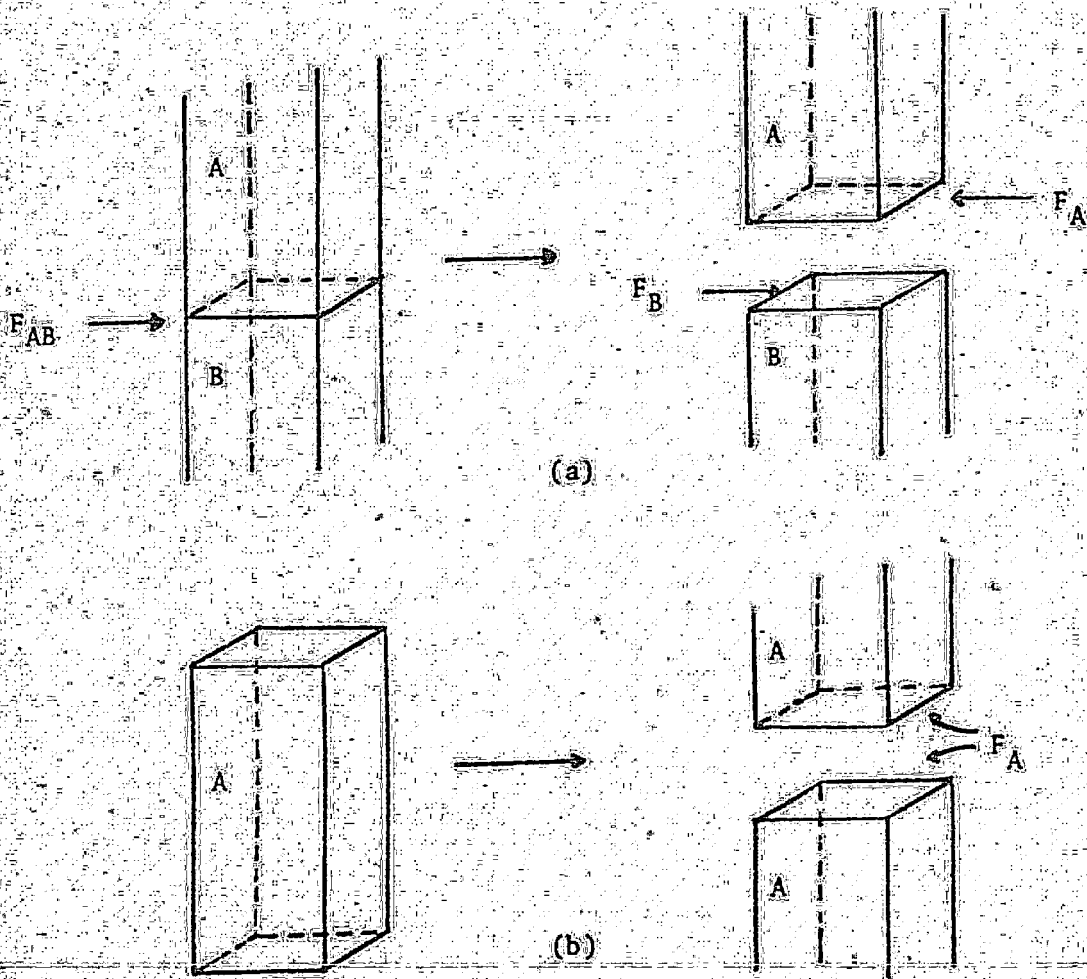


FIG. 18. Representación esquemática de:
a) Trabajo de adhesión y
b) trabajo de cohesión.

la superficie plana del sólido, es posible sustituir la ecuación de Young-Dupré :-

$$F_{SV}^{\circ} = F_{SL} + F_{LV}^{\circ} \cos \theta \quad (3)$$

en la ecuación 2, obteniéndose:

$$W_{adh} = F_S^{\circ} - F_{SV}^{\circ} + F_{LV}^{\circ} (1 + \cos \theta) \quad (4)$$

Aquí, F_{SV}° es la energía libre de superficie del sólido en contacto con el vapor saturado del líquido, y el término $F_S^{\circ} - F_{SV}^{\circ}$ es una medida del decremento de la energía libre de superficie del sólido al ponerse en contacto con el vapor saturado del líquido, definiéndose por:

$$f_{SV}^{\circ} = F_S^{\circ} - F_{SV}^{\circ} \quad (5)$$

De igual manera, el trabajo de cohesión, W_{coh} , de un material A está dado por:

$$W_{coh} = 2 F_A \quad (6)$$

el cual corresponde el trabajo reversible necesario para separar en dos una columna de material A como se muestra en la figura 1b.

Por lo cual, el trabajo de cohesión de un líquido se define como:

$$W_{adh} = 2 F_{LV}^{\circ} \quad (7)$$

Si se considera ahora que por algún medio el líquido L, solidifique sobre el sólido S, de tal forma que se tenga un sistema en equilibrio de dos sólidos en contacto S_1 , la ecuación de Young-Dupré para este sistema está dado por:

$$F_{SV_1}^{\circ} = F_{SS_1} = F_{S_1V_1}^{\circ} \cos \theta \quad (8)$$

y el trabajo máximo de adhesión del sólido S_1 sobre el sólido S por:

$$W_{adh} = F_{S^{\circ}} + F_{S_1V_1}^{\circ} - F_{SS_1} \quad (9)$$

de tal forma que sustituyendo la ecuación 8 en la ecuación 9 se tiene:

$$W_{adh} = F_{SV_1}^{\circ} + F_{S_1V_1}^{\circ} (1 + \cos \theta) \quad (10)$$

donde:

$$F_{SV_1}^{\circ} = F_{S^{\circ}} - F_{SV_1}^{\circ} \quad (11)$$

representa físicamente la cantidad de vapor adsorbido por el sólido S. Sin embargo, para líquidos no volátiles como es el caso de los polímeros fundidos,

$$F_{S^{\circ}} - F_{SV_1}^{\circ} = 0,$$

de tal forma que la ecuación 10 se simplifica a:

$$W_{adh} = F_{S_1V_1}^{\circ} (1 + \cos \theta) \quad (12)$$

Analogamente, el trabajo de cohesión del adhesivo solidificado está dado por:

$$W_{\text{coh}} = 2 F_{S_1} V_1^0 \quad (13)$$

A partir de estas dos últimas ecuaciones, se puede estimar la resistencia teórica entre el adhesivo y el adherente, si es posible medir de alguna forma la energía libre de superficie del adhesivo solidificado.

Sin embargo, estas resistencias teóricas son mucho mayores que las observadas experimentalmente. Esta diferencia se debe a que la estimación teórica considera la existencia de un contacto molecular total entre el adhesivo y el adherente, la absoluta ausencia de esfuerzos interfaciales y otros esfuerzos internos y solo se considera los esfuerzos tensionales para romper la interfase. La "pobre" adhesión real entre el adhesivo y el adherente se debe a un contacto interfacial no uniforme o alta insuficiencia de "densidad de contacto" interfacial, siendo básicamente tres las posibles causas desde el punto de vista termodinámico que limitan el contacto intermolecular en la interfase.

- (1) La configuración molecular de los componentes de las dos fases es tal, que limita el número de contactos interfaciales.
- (2) Que el equilibrio termodinámico o mojado máximo posible no sea alcanzado.
- (3) Que los efectos de energía asociados con la morfología del polímero, obliguen a que el equilibrio termodinámico no corresponda al estado de mojado máximo.

Así mismo, desde el punto de vista mecánico, la baja resistencia real de la unión adhesivo-adherente, se debe a los esfuerzos interfaciales resultantes de la contracción diferencial entre el adhesivo y el adherente al solidificar el sistema y a la desigual deformación que experimentan los dos componentes del material reforzado, cuando este es sometido a esfuerzos externos. La deformación del material compuesto está determinado por los módulos elásticos del adhesivo y del adherente.

Mojado y equilibrio termodinámico.

Desde el punto de vista matemático, cuando el líquido moja al sólido, al menos inicialmente, el trabajo de adhesión máximo del líquido sobre el sólido es mayor que el trabajo de cohesión del líquido, por lo que se define el llamado coeficiente de mojado como:

$$S = W_{adh} - W_{coh} \quad (14)$$

es decir

$$S = - \frac{dF}{dA} \quad (15)$$

donde F es la energía libre del sistema y A el área de la interfase.

Sustituyendo las ecuaciones 2 y 7 en la ecuación 14, el coeficiente de mojado S, queda expresado como:

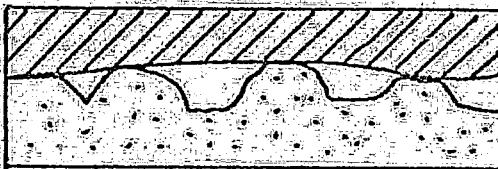
$$S = F_{S^0} - F_{SL} - F_{LY^0} \quad (16)$$

De tal manera que el mojado sucede cuando $S > 0$, es decir, cuando:

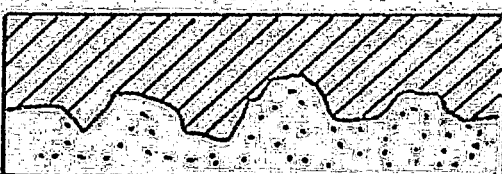
$$F_{S^0} > F_{SL} + F_{LY^0} \quad (17)$$

La ecuación 16 define la condición de mojado desde el punto de vista termodinámico; sin embargo para establecer una relación entre el equilibrio termodinámico basado en las energías libres interfaciales, y el logro de la adhesión, es preferible considerar el mojado como el proceso que permite el contacto interfacial, y el estado de mojado como el número de contactos moleculares efectivos entre las fases relativo al número máximo de contactos interfaciales posibles cuando el sistema se encuentra en equilibrio (en un estado de mojado total).

Dado que en la práctica, los adhesivos son depositados sobre sustratos sólidos de topografía irregular como se muestra esquemáticamente en la Figura 2a, el problema básico que se presenta es determinar bajo que condiciones las energías libres de superficie de las fases en cuestión, permiten el mojado total de la superficie del sólido, como se muestra en la Figura 2b, es decir,



(a)



(b)

FIG. 19. Mojado de un sustrato sólido por un adhesivo. a) Sustrato parcialmente mojado, b) Sustrato Totalmente mojado.

cuando se alcanza el equilibrio termodinámico (el estado de mínima energía).

Uno de los criterios para determinar si ocurre o no el mojado total, está basado en considerar el cambio de la energía libre asociada con el proceso de mojado de los poros o intersticios. Si el volumen de los intersticios no mojados inicialmente es pequeño con respecto al volumen total del adhesivo, los cambios de energía en otras partes del sistema son despreciables, por lo que el cambio de energía libre que acompaña al mojado del sus trato queda dado por:

$$\Delta F = A_{SV}^{\circ} F_{SL} - (A_{SV}^{\circ} F_{SV}^{\circ} + A_{LV}^{\circ} F_{LV}^{\circ}), \quad (18)$$

donde A_{SV}° y A_{LV}° representan el área actual de la interfase sólido-vapor y el área de la interfase líquido vapor respectivamente, en el estado de mojado parcial.

Sustituyendo la ecuación de Young-Dupré (Ec3) en la ecuación 17 se obtiene:

$$\Delta F^* = -F_{LV}^{\circ} [1 + (A_{SV}^{\circ}/A_{LV}^{\circ}) \cos \theta], \quad (19)$$

La cual muestra que el mojado total es esperado en el equilibrio termodinámico, al menos que $(A_{SV}^{\circ}/A_{LV}^{\circ}) \cos \theta$ sea negativo y su valor absoluto mayor que la unidad. Es decir, este criterio establece que el estado de mínima energía se logra cuando el mojado sea total, o sea cuando el $\cos \theta$ sea igual a uno.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- PATENTE DEL PRODUCTO PROPIEDAD DE LA UNAM.
- 2.- PATENTE DE PROCESO PROPIEDAD DE LA UNAM.
- 3.- C. WINDING "Polymeric Materials", Mc.Graw-Hill Book Company, New York, 1961, Pg.6.
- 4.- A. GARRAL "Computadoras y plásticos en perspectiva", Editorial Universitaria de Buenos Aires 1966, Pg 133-136.
- 5.- E. Aralza Cazcón "Plásticos Reforzados con Fibra de vidrio para servicios en medios corrosivos, en su aspecto económico." Tesis Facultad de Química, U.N.A.M., 1968, pg. 20-21.
- 6.- E. Billmeyer "Textbook of Polymer Science" Ed. John Wiley and Sons, New York, 1971, Pg.214-221 y 235-237.
- 7.- J. Chavez Pérez "Ejemplo de aplicación del Plástico Reforzado en Ingeniería Química. Tesis Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, I.P.N. 1972, Pg.2, 39.
- 8.- W.A. ZISMAN Improving the performance of reinforced Plastics. Industrial and Engineering Chemistry. Vol.57 No.1 January 1965, Pg.26-34.
- 9.- W.A. ZISMAN. Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 55 No.10, Octubre 1963, Pg.19-38.
- 10.- Patronato de Investigación Científica y Técnica Juan de la Cierva, España. Los plásticos en la construcción. (libro)
- 11.- J. Adhesion The effects of high contact pressures and temperatures on the adhesion, 1974, Vol.6- Pg.35, 73-75.
- 12.- D. Cruz Mendoza "Efectos de altas presiones en el moldeo de plásticos reforzados". Tesis Facultad de Química, U.N.A.M., 1977 pg.13

13. - R. J. GOOD J. Adhesión. 3 (1), pg. 1-2, 1976.
14. - S. S. VOYUTSKII Authesion and adhesion of high Polymers Interscience Publisher, New York, 1963.
15. - AMANDO PADILLA R. Estudio físico-químico de interfases: Optimización de las propiedades del polietileno reforzado con fibra de vidrio, 1973, Facultad de Ciencias U.N.A.M. Pag. 9-17.