

25  
24



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES  
FISICOQUIMICAS DE LOS ADHESIVOS  
EPOXICOS**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO QUIMICO**

**P R E S E N T A ;**

**GUADALUPE VIRGINIA CHAVEZ GALVAN**

**México, D. F.**

**1991**

**FALLA DE ORIGEN**



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 está 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

	PAG.
INTRODUCCION.	1
<b>CAPITULO 1</b>	
<b>FUNDAMENTOS TEORICOS.</b>	
1.1 FORMACION DE LA JUNTA ADHESIVA.	3
1.2 MOJADO.	3
1.2.1 EXTENDIDO.	4
1.2.2 MOJADO EN TERMINOS DE ENERGIA LIBRE.	6
1.3 TEORIAS ADHESIVAS.	7
1.4 TEORIAS BASICAS QUE DESCRIBEN A LA FORMACION DE LA JUNTA ADHESIVA.	8
1.4.1 ADSORCION FISICA.	8
1.4.2 QUIMIADSORCION.	8
1.4.3 ENERGIA SUPERFICIAL.	9
1.4.4 RUGOSIDAD.	12
1.4.5 TEORIA DE LA DIFUSION.	13
1.4.6 VARIABLES IMPORTANTES.	13
1.5 CURADO.	14
1.6 FACTORES QUE AFECTAN A LA JUNTA ADHESIVA.	17
1.6.1 DESORCION DEL ADHESIVO POR EL AGUA.	17
1.6.2 ESFUERZOS INTERNOS EN LA INTERFASE.	18
1.6.3 TRATAMIENTO SUPERFICIAL.	19
1.7 DISEÑO DE UNIONES ADHESIVAS.	22
<b>CAPITULO 2</b>	
<b>ADHESIVOS EPOXICOS.</b>	
2.1 OBTENCION.	31
2.2 AGENTES CURANTES.	34
2.3 CARGAS.	37
2.4 FLEXIBILIDAD Y PLASTISANTES.	45
2.5 DILUYENTES.	46
2.6 APLICACIONES DE LOS ADHESIVOS EPOXICOS.	49
<b>CAPITULO 3</b>	
<b>PRUEBAS A LOS ADHESIVOS EPOXICOS Y RESULTADOS.</b>	
3.1 VISCOSIDAD.	65
	66

3.2	TIEMPO DE GELIFICACION.	67
3.3	PEGAJOSIDAD O TAKH.	68
3.4	ESTABILIDAD AL HIELO/DESHIELO.	68
3.5	CONTENIDO EN SOLIDOS.	69
3.6	PENETRACION.	69
3.7	VELOCIDAD DE CURADO.	69
3.8	DUREZA.	70
3.9	CONTENIDO DE VOLATILES.	70
3.10	CONTENIDO EPOXICO.	71
3.11	EXPERIMENTACION Y RESULTADOS.	81
CONCLUSIONES.		111
APENDICE.		114
BIBLIOGRAFIA.		124

## INTRODUCCION

## INTRODUCCION

En sentido amplio, adhesivo es la sustancia capaz de unir dos superficies, adhiriéndolas entre sí; comúnmente se aplican en forma de solución o emulsión, pero también en película delgada sólida, que con calor se funde.

Generalmente, la formación de la unión adhesiva depende de la transformación de la capa adherente en un material semisólido o una película dura que, por supuesto, debe tener alta fuerza de cohesión y adherirse firmemente a los sustratos que se unirán.

Las resinas más utilizadas para la elaboración de adhesivos y recubrimientos son las que se obtienen a partir de la reacción del Bisfenol A con Epíclorohidrina. Estos reactivos se caracterizan por su baja contracción durante la polimerización, además, debido a su alto peso molecular tienen una viscosidad alta, por lo que son frecuentemente utilizados para obtener materiales duros y flexibles.

Para la obtención de materiales termoesitables deben agregarse endurecedores, sustancias de entrecruzamiento y catalizadores. En general, las resinas tienen un índice convencional de 0 a 1 cuando son líquidas y mayor a 2 cuando son sólidas a temperatura ambiente.

Entre los adhesivos, los de tipo epóxico tienen una gran importancia en la vida moderna por su variedad de aplicaciones, por lo que han logrado un lugar prominente en la industria. Se presentan en sistemas de dos componentes (resina y endurecedores), que mezclandolos, reaccionan y se curan a temperatura ambiente; durante el curado (reacción completa de la resina con el endurecedor) no existe problema de emisiones a la atmósfera.

Estos adhesivos están teniendo relevancia en la industria automotriz y en las líneas de ensamble, en donde se requiere rapidez y resistencia.

El propósito del presente trabajo es realizar un estudio de los adhesivos epóxicos y explicar el fenómeno de la adhesividad, así como los diversos factores que influyen en el desarrollo de estos materiales. Además, llevar a cabo una serie de pruebas con el fin de determinar algunas de sus propiedades fisicoquímicas y probar nuevas técnicas experimentales.

CAPITULO 1



## FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 1.1 FORMACION DE LA JUNTA ADHESIVA.

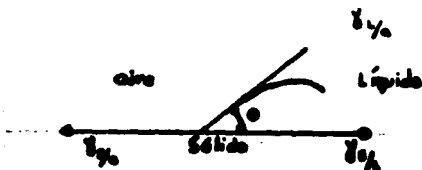
Generalmente, toda junta adhesiva se forma colocando un líquido adhesivo en contacto íntimo con las superficies de los sustratos, de suerte que el líquido se transforme en un sólido duro para formar de esta manera la unión.

### 1.2 MOJADO.

Uno de los factores más importantes que influye en la adhesión, es la capacidad del adhesivo para mojar las superficies del sólido adherente, el cual debe extenderse y formar una capa delgada uniforme.

Para mojar una superficie lisa, el adhesivo líquido debe producir un ángulo de contacto pequeño; este ángulo será el formado entre la gota del adhesivo y la superficie sólida sobre la cual se encuentra. (Fig. 1.1)

Fig. 1.1



### 1.2.1 EXTENDIDO.

Siempre y cuando el sustrato se encuentre libre de contaminación, liso y que en el momento de la aplicación el adhesivo tenga una viscosidad baja, se podrá colocar una gota de éste sobre la superficie, la cual formará un ángulo de equilibrio después de que las fuerzas estén balanceadas. Estas fuerzas de la superficie medidas en dinas/cm son idénticas, numérica y dimensionalmente a las energías libres de las mismas expresadas en  $\text{erg/cm}^2$ .

El trabajo de adhesión entre dos líquidos inmiscibles, es igual al trabajo necesario para separar la interfase líquido-líquido y formar dos interfaces líquido-aire, y está dado por la ecuación de Dupré:

$$W_a = \gamma_a + \gamma_b - \gamma_{ab} \dots \dots \dots \text{ec. (1)}$$

también puede definir la disminución de energía libre, cuando dos superficies sólido y líquido, forman la interfase S-L. El trabajo de adhesión  $W_{s/l}$  se determina en este caso por la relación:

$$W_{s/l} = G_{s/a} + G_{l/a} - G_{s/l} \dots \dots \dots \text{ec. (2)}$$

donde  $G_{s/a}$  representa la energía libre superficial del sólido en equilibrio con el aire.

Sin embargo, el trabajo de adhesión también puede estimarse a partir de la observación del ángulo de contacto " $\theta$ ", en líquidos

que mojen incompletamente la superficie del sólido; esto es, si se coloca una gota de líquido sobre la superficie formará un ángulo de contacto definido con ésta.

Suponiendo que las distintas fuerzas superficiales puedan representarse por las tensiones que actúan sobre la gota, se obtiene, la siguiente expresión:

$$G_{s/o} = G_{s/l} + G_{l/o} (\cos \theta) \dots\dots\dots \text{ec. (3)}$$

que combinándola con la forma apropiada de la ecuación de Dupré (ec. 2) resulta:

$$W_{s/l} = G_{l/o} (1 + \cos \theta) \dots\dots\dots \text{ec. (4)}$$

que se conoce como la ecuación de Young (ref.1). Según esta ecuación, se obtiene un ángulo de contacto cero cuando las fuerzas de atracción entre el sólido y el líquido son iguales o mayores de las que existen dentro del líquido. El ángulo de contacto tomará un valor determinado, cuando la cohesión del líquido sea mayor que la adhesión al sólido.

Se favorece el extendido del adhesivo y el ángulo de contacto es pequeño cuando:

- El sustrato este libre de contaminación y posee alta energía superficial (alto  $G_{s/o}$ ).

- El adhesivo tenga afinidad por el sustrato (bajo  $G_{e/l}$ ).
- La tensión superficial del adhesivo ( $G_{l/a}$ ) sea baja.

El conocimiento del extendido no tiene valor para determinar la resistencia de la unión. Desde este punto de vista, la humectación completa no es una condición suficiente para que exista adherencia. El estudio de los equilibrios de humectación no da lugar a una información específica sobre la resistencia de unión en adhesivos líquidos. Por otra parte, aunque el cálculo del equilibrio que indica la humectación absoluta o completa ( $0^\circ$ ) no es requisito indispensable para una unión adecuada, las consideraciones prácticas hacen deseable un ángulo de contacto pequeño, del cual dependen las propiedades del adhesivo y de la unión realizada.

### 1.2.2 MOJADO EN TERMINOS DE ENERGIA LIBRE.

La adhesión entre el adhesivo y el sustrato debe ser más fuerte que la cohesión del mismo adhesivo curado (resina + endurecedor). Si el enlace entre el adhesivo y el sustrato es lo bastante fuerte, habrá una disminución en la energía libre como resultado de la combinación:

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S \dots\dots\dots \text{ec. (5)}$$

donde:

$\Delta G$ =Energía libre de mezclado.

$\Delta H$ =Cambio de la Entalpia.

$\Delta S$ =Cambio de la Entropia.

cuando se mezclan dos materiales  $S$  aumenta. Los materiales tenderán a combinarse siempre y cuando  $\Delta H$  no sea muy alto. Aumentando la temperatura, el término  $T\Delta S$  se hace más negativo provocando así el mezclado. Si  $\Delta G$  es igual a cero como resultado de enlaces de hidrogeno, u otras combinaciones químicas entre adherentes y adhesivo, entonces el mojado es efectivo.

### 1.3 TEORIAS ADHESIVAS.

Las teorías de adhesión han tenido muy poca influencia en el desarrollo de los adhesivos, debido a que son relativamente pocas, pero esto no implica que se llegue a un entendimiento fácil.

Estas teorías se enfocan a las fuerzas responsables del fenómeno de adherencia, las cuales se atribuyen a:

- Enlaces químicos.
- La adherencia mecánica.
- La adsorción física y química.
- Fuerzas electrostáticas de atracción inherentes.
- Combinación de estas teorías.

#### 1.4 TEORIAS BASICAS QUE DESCRIBEN A LA FORMACION DE LA JUNTA ADHESIVA.

##### 1.4.1 ADSORCION FISICA.

Las fuerzas de atracción debidas a la adsorción física se llaman secundarias o de Van Der Walls, las cuales incluyen moléculas con dipolos permanentes, dipolos inducidos por dipolos permanentes en las moléculas adyacentes, conocidas como fuerzas de Debye y, finalmente, las fuerzas de dispersión que están presentes en cualquier molécula. Las fuerzas de dispersión son dipolos producidos por el movimiento de los electrones dentro de la molécula y son independientes de la polaridad. Estas fuerzas son suficientes para producir enlaces más fuertes que la fuerza cohesiva de muchos materiales utilizados como adhesivos. Eley, estima que el valor teórico de la fuerza necesaria para arrancar una molécula de la superficie es aproximadamente de 4000 Kg/cm<sup>2</sup> (ref.2).

##### 1.4.2 QUIMIADSORCION.

Representa la formación de enlaces primarios complejos muy rígidos. Dichos enlaces son más fuertes y direccionales que los de Van der Walls, aumentando la resistencia mecánica del área unida.

Por supuesto, puede darse el caso de que se produzcan cambios químicos en la interfase, pero éste hecho en si mismo no prueba que haya alguna contribución positiva a la resistencia mecánica de la unión. Si se considera que se establecen puentes de hidrógeno entre el adsorbato y el adsorbente, se tiene un ejemplo de esta teoría.

### 1.4.3 ENERGIA SUPERFICIAL.

Esta teoría supone que la ruptura de una junta adhesiva se efectúa a lo largo de la interfase (ref. 3).

Fundamentalmente considera el cambio de energía que sufre la junta adhesiva antes y después de realizarse la ruptura de la misma. Si tenemos que  $G_{1-2}$  es la energía superficial de la junta adhesiva y que  $G_1$  y  $G_2$  son las energías superficiales de la interfase adherente-aire y adhesivo-aire, por supuesto formada después de la ruptura, tenemos que el cambio de energía superficial (W) del sistema es:

$$W = G_1 + G_2 - G_{1-2} \dots \dots \dots \text{ec. (B)}$$

El trabajo efectuado en romper la junta adhesiva se supone que es igual a la ecuación anterior, pero es muy difícil de corroborar porque ninguno de los valores,  $G_1$ ,  $G_2$  y  $G_{1-2}$ , son medibles. Sin embargo, se cree, que la ec.(W) tiene un valor entre 100 y 1000 erg/cm<sup>2</sup>. Un valor cercano al limite inferior se

obtiene cuando se introduce la hipótesis de que la energía libre superficial del adhesivo ( $G_2$ ) es igual a la tensión superficial del mismo ( $g_2$ ), dando como resultado la ecuación de mojado de Young.

En adhesión, la regla de las energías superficiales para que un líquido moje y se extienda sobre una superficie sólida, es que la tensión superficial ( $g_2$ ) del sólido debe ser mayor que la tensión superficial ( $g_1$ ) del adhesivo:

$$g_2 > g_1$$

Esta condición es fácilmente aplicada en el caso de sólidos polares como son los metales, óxidos metálicos y sales metálicas que tienen una energía libre superficial entre 100 y 300 erg/cm<sup>2</sup> (ref.4). Los líquidos orgánicos y el agua tienen una tensión superficial menor a 100 erg/cm<sup>2</sup>, estando incluidas dentro de los líquidos orgánicos las resinas termoplásticas fundidas, como el polietileno y otros adhesivos termoplásticos, que pueden formar buena unión con sólidos polares (ref.4). En la tabla 1-1 se anotan algunas energías superficiales en forma relativa.



TABLA 1-1. Energía superficial relativa de algunos materiales.

MATERIAL	ENERGIA SUPERFICIAL
Oxidos metálicos.....	muy alta.
Dacrón.....	muy alta.
Acrílicos.....	alta.
Cloruro de polivinilo.....	media.
Poliétileno.....	media baja.
Silicón.....	baja.
Teflón.....	muy baja.

En el caso de adhesivos que unirán materiales a base de resinas sintéticas, se sigue el mismo criterio ( $g_s > g_l$ ), es decir, el polietileno deberá utilizarse fundido como adhesivo para que moje superficies que tengan mayor energía superficial que el mismo, como en el caso de los sustratos a base de resinas epóxicas curadas (ref.5). En el caso inverso, se necesita un tratamiento superficial, como es la oxidación, a la superficie sólida del polietileno para aumentar su contenido energético y así poder ser mojado por un adhesivo epóxico. A pesar de que el criterio de las superficies energéticas explican la habilidad del mojado y extendido sobre el adherente, esto no implica que la adsorción y adhesión resulten satisfactorias.

#### 1.4.4 RUGOSIDAD.

Se establece que la adhesión es debida a la rugosidad inherente a todas las superficies. Las fuerzas moleculares de atracción ocasionan que un adhesivo moje y se extienda en una superficie, pero una vez que éstas han sido alcanzadas, el apareamiento mecánico entre el adhesivo y la rugosidad inherente del sustrato es más que suficiente para mantener la fuerza de la unión.

Si hubiese un perfecto acoplamiento entre el adhesivo y el adherente, la versión mecánica de la adhesión podría quizás, ser aceptada. Sin embargo, la rugosidad superficial tiene factores limitantes como son las burbujas de gas atrapadas. Puesto que no es factible de preparar un enlace en el vacío, la rugosidad se hace indeseable, ya que con ello implica vacíos inherentes que originan un mojado incompleto. Por otra parte, la rugosidad superficial contiene una mayor área de contacto en que las fuerzas de Van der Waals pueden operar. Esto se consideraría como un factor benéfico a la resistencia de la unión, como se demuestra en la tabla 1-2, en que un aumento en la rugosidad aumenta la fuerza de pelado, la cual se define como la fuerza necesaria para retirar o limpiar materiales adherentes de una superficie sólida.

TABLA 1-2. Efecto de la rugosidad en la superficie del níquel en la prueba del pelado.

RUGOSIDAD, micras.	FUERZA DEL PELADO, gr.
4.25	90
5.00	90
6.25	105
11.25	135
15.00	180
19.25	250

ancho de la unión: 15.875 mm.

#### 1.4.5 TEORIA DE LA DIFUSION.

Propuesta por Voyutskii y sus colaboradores (ref.7).  
Establece que la resistencia de la unión se determina (en los polimeros) por la difusión de moléculas orgánicas a través de la interfase. Por lo que los materiales orgánicos utilizados como adhesivos deben ser compatibles, en terminos de difusión y miscibilidad, con muchos adherentes orgánicos.

#### 1.4.6 VARIABLES IMPORTANTES.

A) Energía mecánica.- Si suponemos que el trabajo mecánico

utilizado en aplicar el adhesivo sobre la superficie del sustrato podría desplazar cualquier contaminante que se encontrara, entonces habria de considerar a este tipo de energia como una variable importante.

B) Calor y Presión.- El calor aumenta la habilidad del adhesivo a absorberse, disolverse, dispersarse o desorber impurezas, y a disminuir la viscosidad del adhesivo mejorando la capacidad del mojado y asi ser adsorbido en el adherente. Tambien aumenta la velocidad de reaccion, de las posibles reacciones quimicas en el adhesivo o entre el reforzante y el sustrato. La presión, junto con el calor, ayudan al mojado y extendido de adhesivos muy viscosos.

#### 1.5 CURADO.

Los adhesivos se deben aplicar al sustrato en una forma liquida de preferencia, para que mojen completamente la superficie y no deje espacios vacios, aun siendo la superficie muy aspera. En consecuencia, el adhesivo debe tener una viscosidad baja al ser aplicado.

Sin embargo, para que el adhesivo desarrolle una fuerza de cohesión alta, éste debe ser curado, es decir, convertido en una pelicula sólida.

La transición de líquido a sólido puede llevarse a cabo por uno, o combinación de los siguientes tres mecanismos:

#### LIBERACION DEL SOLVENTE.

Si el adhesivo se encuentra formando una red entonces, se sabe, que contiene una mezcla de agua o solventes orgánicos, los cuales tienen la función de bajar la viscosidad, lo suficiente para alcanzar un buen mojado del sustrato, logrado esto deben de ser desalojados. Los sustratos porosos, como el papel, admiten que estos líquidos se saigan de la interfase adherente-adhesivo, pero si ambos sustratos son impermeables es necesario evaporar el agua o el solvente antes de unir los dos materiales, con lo cual dentro de las líneas de ensamble se retardará la producción.

#### ENFRIADO DE UN FUNDIDO CALIENTE.

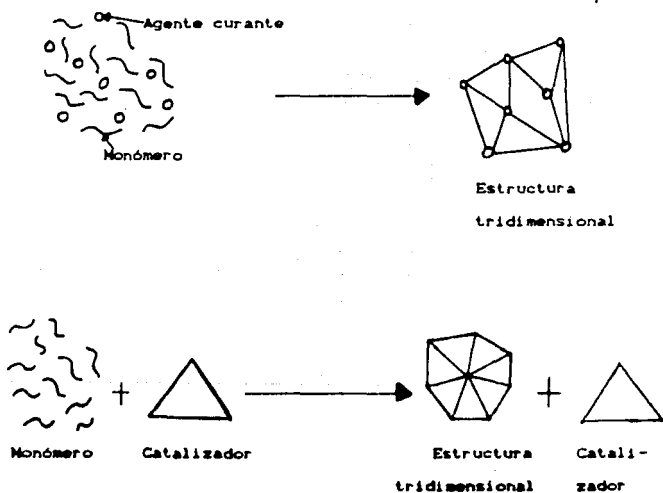
En este tipo de sistema, un adhesivo polimérico fundido se enfría por debajo de su punto de fusión para formar un sólido. El calentamiento debe dar por resultado una alta fluidez, suficiente, como para lograr un mojado exitoso.

#### CURADO POR REACCION QUIMICA.

Este sistema ha alcanzado el más rápido progreso tecnológico. Todas las resinas termoestables caen dentro de esta categoría. La resina es aplicada en forma de monómero, o semipolimerizado, para

formar posteriormente una red tridimensional durante el curado. El proceso, típico de los adhesivos epóxicos, para la formación de la estructura tridimensional necesita que las moléculas reaccionen entre sí por el uso, o de un agente curante, o de un catalizador. Los agentes curantes pasan a formar parte de la estructura, a diferencia de los catalizadores que no forman parte significativa de la película adhesiva final, como se muestra en la fig. 1-2.

Fig.1-2.



## 1.6 FACTORES QUE AFECTAN LA JUNTA ADHESIVA.

### 1.6.1 DESORCIÓN DEL ADHESIVO POR EL AGUA.

La desorción del adhesivo por el agua puede ocurrir por cualquiera de estos mecanismos:

A) El adhesivo puede absorber el agua para después difundirse a través del adhesivo hasta la interfase, en donde el fenómeno de desorción se efectúa. O

B) El agua puede difundirse a lo largo de la interfase adhesivo-adherente; se ha demostrado que la difusión del agua a lo largo de la interfase en una resina epóxica unida a vidrio se efectúa 450 veces más rápido, que la difusión a través de la resina misma.

Las evidencias que soportan el mecanismo de desorción son:

a) Los datos de calores de inmersión reportados, han demostrado que el agua desarrolla un trabajo de adherencia más grande para sólidos polares que el realizado en líquidos como: propanol, acetona y benceno.

b) En la adsorción de mezclas de líquidos, el efecto desorbente del agua es el factor dominante.

c) Experimentos que utilizan técnicas de análisis de evaporación.

### 1.6.2 ESFUERZOS INTERNOS EN LA INTERFASE.

Se ha demostrado que los esfuerzos internos en la interfase originados por la discontinuidad de fases, la dilatación y la corrosión, principalmente, son una de las causas que originan la ruptura de la junta adhesiva.

#### DISCONTINUIDAD DE FASE.

La discontinuidad de las fases es el factor principal que introduce esfuerzos internos dentro de la interfase, y casi siempre están presentes en toda junta adhesiva, ya que generalmente existen diferencias entre la naturaleza del adhesivo y la del adherente. Un adherente que tenga un módulo de elongación alto, junto a un adhesivo que tenga diferencias en el coeficiente de expansión, provocará la creación de esfuerzos internos en la interfase durante cualquier aumento de la temperatura.

#### DILATACION.

Otro de los factores que originan esfuerzos internos en la interfase es el dilatamiento debido a la absorción de algún líquido. Los adhesivos, normalmente orgánicos o semiorgánicos, pueden ser sensibles a los solventes orgánicos u acuosos. Cualquier absorción ocasionará hinchamientos, mientras que el



adherente permanecerá inalterable en el caso de que sea metálico o cerámico, presentando al mismo tiempo el efecto de la discontinuidad de fases.

#### CORROSION.

La corrosión del adherente por el adhesivo es una posibilidad que hay que tomar en cuenta, ya que no es posible predecirla por algún tipo de prueba especial. Es por ello que la corrosión debe ser admitida como una posibilidad, aun en los enlaces bien preparados. Sin embargo, puede decirse que la corrosión del adherente por el adhesivo y/o el medio ambiente que los rodea, ocurre solamente después que el adhesivo ha sido desorbido, es decir, que la corrosión se efectúa en los sitios desalojados por el adhesivo. Un adhesivo quimiadsorbido podría proteger a la superficie del adherente del ataque corrosivo del medio circundante.

#### 1.6.3 TRATAMIENTO SUPERFICIAL.

El tratamiento superficial del adherente antes de aplicar el adhesivo tiene mucha importancia en la formación de juntas adhesivas adecuadas.

De acuerdo con la teoría de Energía superficial, se dice que el tratamiento superficial es capaz de modificar la naturaleza

básica del adherente, oxidandola químicamente, dando como resultado una superficie con mayor contenido energético.

Existen diversos tipos de tratamientos superficiales como es el desengrasado, pulido, lijado, decapado ácido, sopleteado con arena o vapor, que persiguen uno o varios de los siguientes objetivos:

a) Remover el polvo, escamas, suciedad y líquidos que puedan atrapar el aire, o evitar que el adhesivo tenga un contacto íntimo con la superficie del adherente.

b) Hacer áspera la superficie para darle una mayor área de contacto al adhesivo y así tener un mayor enclavamiento con el sustrato.

c) Lo contrario, allanar o alisar las superficies ásperas para llevarlas a un contacto más íntimo.

d) Sellar la superficie, haciendo un tapón en los grandes poros, que de otra manera sacarían al adhesivo fuera de la interfase, también para darle cuerpo a la superficie y que el adhesivo no penetre demasiado rápido.

e) Recubriría con una capa ligante, firme e inerte, por ejemplo, un óxido (oxidación del sustrato por tratamiento químico).

f) Disolver de la superficie cualquier compuesto orgánico, aceite, mezcla de plastificantes, lubricantes de moldeo, etc., que les falte integridad mecánica o atracción por el adhesivo.

g) Para secar la superficie, no sólo para remover las capas gruesas de agua, sino también para remover, tanto como sea posible, cualquier película de líquido adsorbida.

h) Para galvanizar la superficie y de esta manera recubriría con un metal que tenga mayor atracción por el adhesivo.

Después de cualquier tratamiento químico es conveniente enjuagar la superficie cuidadosamente, para eliminar cualquier sustancia residual corrosiva, o sales insolubles.

A pesar de que ésta lista es grande, queda claro que solo algunos puntos se alcanzarán dependiendo del tipo de tratamiento empleado, ya sea químico y/o mecánico. Los objetivos necesarios dependerán del sustrato, del adhesivo, del comportamiento de la junta que se desea en el servicio, de los ciclos contaminantes.

Los metales pueden presentar tres complicaciones adicionales:

1) Las superficies de bases metálicas rápidamente se recubren de óxidos, los que algunas veces están demasiado flojos o son demasiado inestables químicamente para ser ligados.

2) Algunas veces será necesario que sean protegidos o inhibidos en contra de la corrosión producida por el adhesivo, el agua o de otros vapores que lo rodean.

3) Los sustratos de metales delgados pueden doblarse, por lo que es importante la resistencia a la exfoliación.

Para los metales relativamente inertes, como el acero inoxidable y el titanio, que no presentan problemas de oxidación, el desengrasado seguido de un sopleteado con arena, o vapor, puede ser suficiente; con los sustratos metálicos que rápidamente forman óxidos, la cuestión es formar en su superficie un óxido que lije fuerte, sea inerte a la hidratación y al ataque corrosivo. En la tabla 1-3, se presenta una lista de sustratos y el tratamiento químico y/ mecánico.

#### 1.7 DISEÑO DE UNIONES ADHESIVAS.

El diseño de las uniones adhesivas debe ser considerado conjuntamente con los demás factores que influyen en la resistencia de la junta, tanto del miembro estructural como del adhesivo mismo, y está íntimamente relacionado con la tensión que seguramente encontrará la unión en el servicio. Puede ser simple o complicado, dependiendo de la función del adhesivo, por ejemplo: en el caso de una etiqueta, el diseño de la junta es muy simple, pero no sucede lo mismo en las uniones adhesivas, deben ser diseñadas con los siguientes principios generales:

- 1) Asegurar una distribución uniforme de los esfuerzos en toda el área de contacto.
- 2) Reducir al mínimo las concentraciones de esfuerzos sobre los extremos de la línea del adhesivo.
- 3) Hacer trabajar al adhesivo en la dirección del esfuerzo máximo.

TABLA 1-3. TRATAMIENTO SUPERFICIAL.

SUSTRATO	TRATAMIENTO MECANICO	TRAT. QUIMICO
Acero, bajo en C.	Lijado, arena.	Enguaje con ácido o alcali.
Acero inoxidable.	Lijado, arena; seguido de decapado con agua fuerte.	Limpiar con ácido o álcali a 150°F. Limpiar con percloroetileno.
Aluminio	Lijado, arena. Limpiar con MEC, arena y en--guaje en MEC.	
Bronce	Lijado, arena; decapado con agua fuerte.	Persulfato de amonio, limpiar con percloroetileno.
Cobre	Lijado, arena.	Acido picrico o persulf. de amon.
Zinc	Lijado, arena.	Limpiar con ácido.
Magnesio	Lijado, arena; tallar con cepillo de alambre.	Limpiar con álcali enguagar, limpiar con ácido picrico, eng.; alcali eng. con agua.
Plásticos		Lavar con uno de sus solventes.
Termoestables	Arenado.	
Epoxi	Ligero sopleteado con arena.	
Teflón		Proceso sodio-nafta lenotetrahidrofurano.

- 4) Proveer de una área máxima de unión.
- 5) Hacer la capa del adhesivo lo más uniforme posible.
- 6) Mantener una capa delgada y continua del adhesivo.

Es esencial para cualquier análisis estructural, reducir los principios del diseño de uniones a tres tipos básicos.

1) Unión por traslape.- Que tiene un amplio uso y existe una gran cantidad de estudios teóricos sobre el efecto del traslape; se comporta bien frente a esfuerzos cortantes.

2) Unión a tope.- Aumenta su resistencia con el área de la superficie útil de la interfase, y se emplea en piezas sometidas a esfuerzos de tracción o compresión, pero son sensibles a rotura por exfoliación a lo largo de la línea de interfase.

3) Unión biselada.- Posee características de los dos tipos de uniones anteriores.

Fig.1-3. TIPOS BASICOS EN EL DISEÑO DE UNIONES.

TRASLAPE SIMPLE



UNION A TOPE

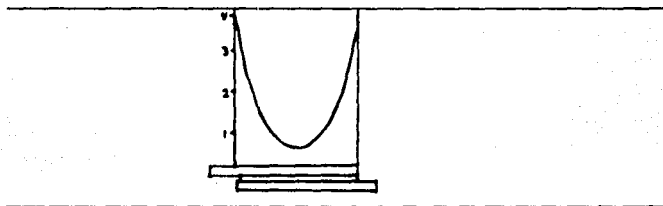


UNION EN BISEL



La elección de un diseño de unión es en gran parte cuestión de experiencia. Como las uniones se hallan expuestas a una combinación de esfuerzos, el proyectista tendrá que tomarlos en cuenta. El tipo de unión más común es el de traslape simple, que tiene la tendencia de sujetar al adhesivo a esfuerzos de tensión en las extremidades del traslape conforme se carga la unión. Los puntos donde se concentran los esfuerzos se observan en la fig.1-4.

Fig. 1-4. DISTRIBUCION DE ESFUERZOS EN UN IMAN DE TRASLAPE.

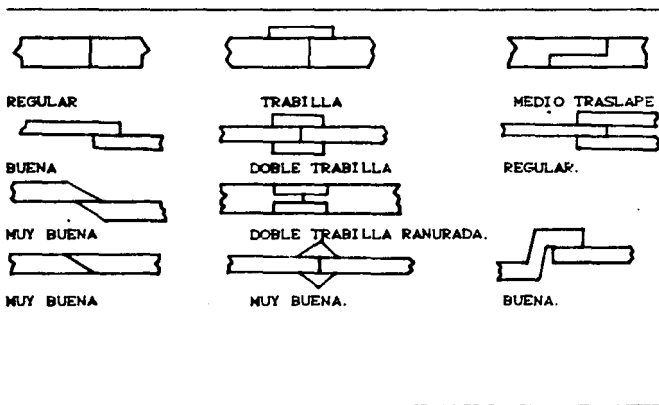


La resistencia de una unión de traslape a los esfuerzos cortantes, es directamente proporcional a la anchura de la junta. También se aumenta la resistencia del traslape con el tamaño del sobrelapado. La relación del espesor y sobrelapado con la resistencia de la junta fué analizada por De Bruyne (ref.8).

Los esfuerzos que soporta la unión a tope, bajo tracción es bastante semejante a los que soporta un ensayo de tracción convencional, el cual suministra esencialmente información sobre la fuerza de cohesión del adhesivo. El espesor óptimo de la capa de adhesivo es, en ciertos casos decisivo para obtener la máxima resistencia en la unión. La teoría elástica llega a la conclusión de que las capas gruesas deberían de ser más resistentes que las delgadas, en tanto que la experiencia demuestra lo contrario.

Hay una gran cantidad de diseños de uniones que pueden ser adaptados a problemas específicos, de la cual se muestra un grupo.

Fig.1-5. DISEÑO DE UNION.



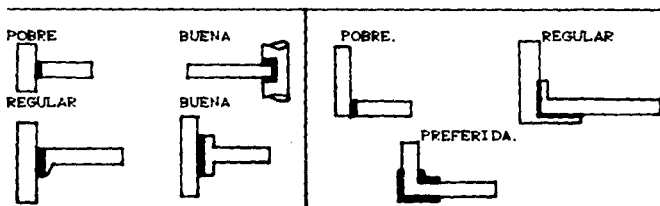


La junta biselada, que es la más eficiente permite una distribución de esfuerzos bastante uniforme sobre el área total de la unión, eliminando las concentraciones de esfuerzos que se presentan en la unión de traslape. La junta de traslape achaflanado también tiene una buena distribución de tensiones.

La fig.1-6 presenta diversos diseños de ángulos de unión evaluados por su resistencia al despegue. Cada diseño se analiza por su efectividad en contra de tensiones aplicadas en cuatro direcciones. Cuando se ligen secciones pesadas, las partes deben diseñarse de tal manera que el adhesivo sea resistente a los esfuerzos cortantes que generalmente se encuentran presentes. Siempre que sea posible, las tensiones de despegue deben evitarse o minimizarse en el diseño de uniones. Las uniones angulares, tales como las esquinas, también están sujetas a esfuerzos de exfoliación y despegue. Los diseños que se observan en la fig.1-7 describen como se pueden reforzar las esquinas para mejorar su resistencia y durabilidad en el servicio.

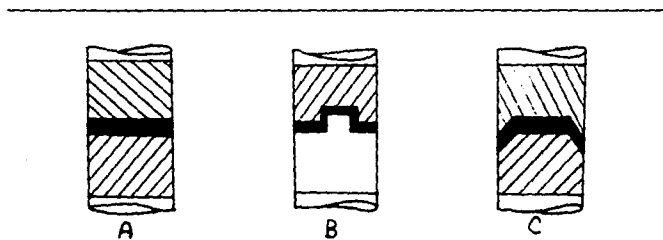
Fig.1-6 ANGULOS DE UNION.

Fig.1-7 UNION EN ESQUINA.



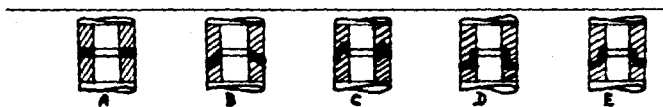
La junta plana de varillas sólidas redondas, puede ser afectada por los esfuerzos de despegue. Con el objeto de mejorar el comportamiento de este tipo de unión, se recomiendan los diseños mostrados en la fig. 1-8.

Fig. 1-8. UNION DE VARILLAS SOLIDAS.



Finalmente, las uniones cilíndricas o tubulares tienen áreas de contacto limitadas, a menos que se diseñen con paredes gruesas y pesadas. En este caso, la resistencia de la unión puede mejorarse maquinando una área de ligadura más adecuada utilizando diseños adecuados o similares a los que se muestran en la fig. 1-9.

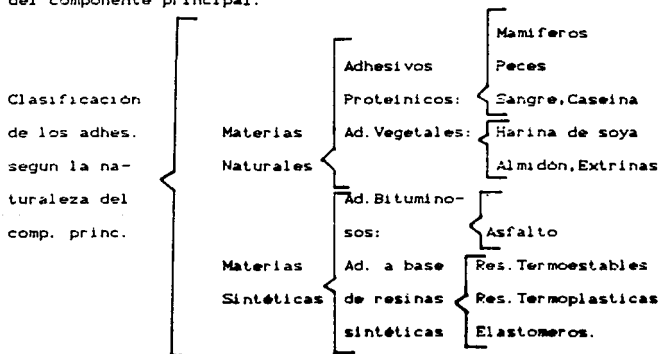
Fig. 1-9. UNION PARA FORMAS TUBULARES.



En este tipo de unión debe haber un espacio libre para el adhesivo. Con algunos diseños pueden requerirse adhesivos de alto contenido en sólidos, o adhesivos para unión entre superficies separadas.

Existen una infinidad de materiales con propiedades adhesivas, que tienen una amplia aplicación en la industria química para la fabricación de adhesivos, los cuales pueden ser de origen natural o sintéticos.

La formación de adhesivos son combinaciones de materiales sintéticos con naturales, esto se hace con el objeto de aprovechar las propiedades de cada material. Para tener un panorama más amplio se ha realizado una clasificación en base a la naturaleza del componente principal.



En nuestro caso nos ocuparemos de los adhesivos epóxicos que están basados en resinas epóxicas, las cuales pertenecen a la clasificación de materiales termoestables.

#### ADHESIVOS A BASE DE RESINAS TERMOESTABLES.

Los adhesivos a base de resinas termoestables son aquellos que experimentan una transformación física y química irreversible. Generalmente se elaboran por polimeros de condensación, siendo los más comunes:

- Adhesivos de urea y formaldehído.
- Adhesivos de melamina formaldehído.
- Adhesivos de fenol formaldehído.
- Adhesivos de resinas epóxicas.
- Adhesivos de resinas de furano.

#### ADHESIVOS DE RESINAS EPOXICAS.

Los adhesivos desarrollados a base de resinas epóxicas, se caracterizan por su adhesividad universal a casi todos los sustratos. En estado no endurecido, la estructura química se caracteriza por el grupo epóxico, por lo regular se fabrican a partir de la reacción entre la Epiclorohidrina y el Bisfenol A. En capítulos posteriores daremos a conocer las propiedades y características de los adhesivos epóxicos.

CAPITULO 2

## ADHESIVOS EPOXICOS

Un adhesivo epóxico esta constituido por un liquido, o un sólido fundible, que contiene grupos epóxicos (resinas) más una serie de compuestos modificantes (cargas, diluyentes, flexibilizantes, etc.) y un agente curante, que contiene grupos funcionales con los que pueden combinarse para formar un sólido fuerte. Generalmente, son bien formulados, por lo que unen una gran variedad de sustratos como: metales, plásticos, concreto, cerámica, etc., esto es debido a su habilidad de mojado y penetración, a su baja viscosidad, y a la presencia de grupos altamente polares en las moléculas, provocando un contacto íntimo entre el adherente y el sustrato.

Cuando la resina es adecuadamente preparada y aplicada, la fuerza cohesiva dentro del adhesivo curado es alta, la adhesión a los materiales tan buena, que con frecuencia la falla adhesiva ocurre en uno de los adherentes; esto sucede en uniones con metales de espesor delgado, plásticos, vidrios, concreto y madera, en cambio, con adherentes metálicos gruesos, y una superficie bien preparada, la fuerza de cohesión es menor que la adhesiva, convirtiéndose en el factor limitante.

Las resinas epóxicas curadas no desarrollan subproductos, tienen baja contracción y alta adherencia, lo cual reduce la

probabilidad de crear porosidad dentro del adhesivo que perjudicaría la resistencia de la junta, así como, los solventes y humedad ocasionan corrosión en los sustratos metálicos; por lo que se recomienda un adhesivo epóxico para uniones de metales, vidrio, y cualquier adherente impermeable, ya que no liberan solventes volátiles y tampoco agua. Además mantienen mejor su forma bajo tensiones prolongadas.

Los adhesivos epóxicos son insensibles a la humedad, su resistencia a los solventes es sorprendente y da la razón de su rápido avance en el campo de los recubrimientos, además son barreras efectivas al calor y a la corriente eléctrica. La razón de éste crecimiento se debe a su gran compatibilidad con muchos modificadores, los cuales les permiten ser formulados para un gran campo de aplicaciones. Los adhesivos epóxicos no modificados, es decir, la resina únicamente cura en estado duro y quebradizo con lo cual restringe utilidad, es por esto que generalmente son modificados o curados. La modificación puede llevarse a cabo para obtener diferentes características de la resina epóxica, las cuales se manifestarán con la adición de algún reactivo como por ejemplo: Reactivo halogenado con el que resulta una resina autoextinguible al contacto con la flama, teniendo alta densidad y costo elevado; con ingredientes multifuncionales se obtienen resinas con tres o cuatro grupos epóxicos que originan un mayor entrecruzamiento durante el curado, pero reducen la resistencia al

impacto; utilizando reactivos cicloalifáticos producen buenas propiedades conductoras, pero reducen la capacidad de la resina de ser curadas a temperatura ambiente.

Cada resina epóxica curada de manera diferente ocupa un lugar específico dentro del campo de los adhesivos, utilizando de esta manera sus ventajas y características.

Aparte del agente curante que se añade a la resina epóxica, se pueden agregar una gran cantidad de compuestos que alteran favorable o desfavorablemente las propiedades que se obtendrían de utilizar solo la resina y el agente de curado; a éstos compuestos generalmente se les llama modificadores, los cuales se agrupan en:

- Cargas.
- Flexibilizantes y Plastisantes.
- Diluyentes.

Las resinas epóxicas pueden ser preparadas por dos métodos diferentes:

El primero consiste en hacer reaccionar una sustancia que ya contenga un grupo epoxi tal como la epíclorohidrina, con una sustancia que posea átomos de hidrógeno reemplazables. El segundo utiliza un ácido peracético para efectuar la epoxidación de un compuesto olefínico. El producto del primer método es un compuesto de glicidil, que en los casos más importantes es glicidil éter.



amina o éster; los glicidil éteres incluyen las resinas epóxicas tipo bisfenol A.

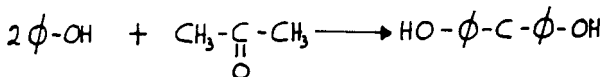
Actualmente las resinas epóxicas son preparadas por la reacción del Bisfenol A con la Epiclorohidrina, que son las llamadas tipo Bisfenol A, utilizadas en el campo de la adherencia.

## 2.1 OBTENCION

Las principales materias primas, necesarias para la producción de la resina epóxica es el Bisfenol A y la Epiclorohidrina.

El bisfenol A o 2,2-bis (4-hidroxifenil)propano, se conoce así porque se forma de 2 moles de fenol y 1 mol de acetona.

REACCION:



FENOL

ACETONA

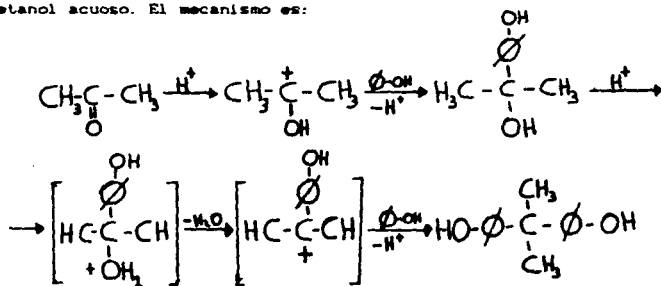
BISFENOL A

Aunque teóricamente se necesita una proporción de reactivos de 2:1, se obtiene, un mayor rendimiento de Bisfenol A, si un

exceso de fenol está presente en la reacción, la proporción óptima es de 4:1.

**PROCEDIMIENTO:**

El fenol y la acetona son mezclados y calentados a 50°C, HCl (catalizador) es burbujado en la mezcla por 8 hrs., debe mantenerse constante la temperatura abajo de 70°C para evitar la formación de productos isoméricos. El Bisfenol A precipitado, se lava con tolueno para eliminar todo el fenol que no reacciono y después se filtra. El producto se recrystaliza de una solución de etanol acuoso. El mecanismo es:



**EPICLOROHIDRINA:**

La Epiclorohidrina o 1-cloro,2,3-epoxipropano, se obtiene como producto intermedio de la preparación del glicerol, el cual se puede obtener por cloración, se clora en caliente el propileno

para dar cloruro alílico:



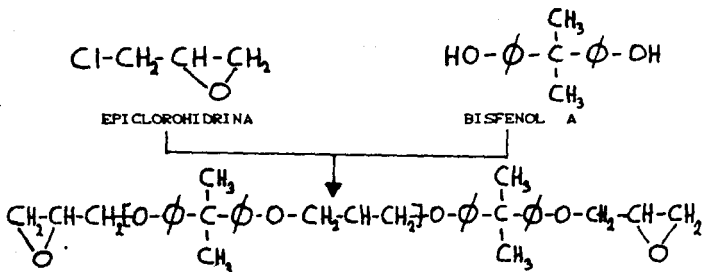
Una mezcla de propileno y cloro (4:1) es calentado a 500°C y 2 atm. de presión; bajo estas condiciones se efectúa principalmente una reacción de sustitución por radicales libres. el cloruro de alilo es tratado con ácido hipocloroso a 30°C para dar el producto de adición, diclorohidrina, la mezcla reaccionante se separa en 2 fases, se extrae la acuosa, dejando la orgánica que es agitada con cal apagada con lo que resulta la Epiclorohidrina.

#### PREPARACION DE LA RESINA:

Para la preparación de la resina epóxica líquida:

Una mezcla de Bisfenol A y Epiclorohidrina (1:4), es calentada a 80°C con agitación, NaOH (2 moles/mol de Bisfenol A) se añade lentamente a una velocidad tal que la mezcla permanezca neutra, la reacción es exotérmica, por lo que necesita un sistema de enfriamiento para mantener la temperatura a 60°C. El exceso de Epiclorohidrina se elimina por destilación a baja presión, el residuo consiste en la resina mezclada con NaCl, éste es filtrado en una mezcla de tolueno, el cual se elimina por destilación al vacío y la resina es calentada a 150°C y 5 mmHg, para eliminar las trazas de materia volátil, finalmente la resina es clarificada al pasarla por un filtro fino.

REACCION:



## 2.2 AGENTES CURANTES.

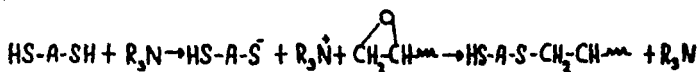
La resina epóxica producida por el método anterior no puede ser polimerizada a una velocidad razonable por calor únicamente, aún calentandola a 200°C el efecto es muy pequeño; el adhesivo debe ser convertido (polimerizado) de un estado líquido a sólido duro por la adición de compuestos reactivos conocidos como agentes curantes. Los cuales pueden ser un verdadero catalizador, que induzca la polimerización en la resina epóxica, o un compuesto que participa directamente en la reacción, pasando a formar parte de la estructura tridimensional.

La proporción del agente curante es una cantidad arbitraria, que dependerá de lo exigido por el adhesivo. En las aplicaciones adhesivas, sus propiedades y características serán el resultado del agente curante utilizado. La selección de un agente curante apropiado es tan importante como elegir la propia resina.

El tipo de agente curante determinará la velocidad de reactividad, grado exotérmico, viscosidad de formulación, tiempo de gelificación y el calor requerido durante el ciclo de curado. Además de técnicas de aplicación, el tiempo de moldeo y las propiedades deseadas de funcionamiento en los adhesivos deben considerarse cuando se escoja el mismo. Además determina el tipo de uniones químicas formadas y el grado de enlace que ocurre en las resinas curadas. Estos factores de hecho afectan la resistencia química, las propiedades físicas y eléctricas, así como la resistencia calorífica del adhesivo. Los tipos de agentes curantes han crecido rápida y continuamente, es por esta razón que se realizará una breve descripción de algunos compuestos de curado para auxiliar en la selección del mismo.

#### POLISULFUROS.

Un ejemplo típico de polisulfuros y la secuencia de reacción con grupos epóxicos se muestra a continuación: MERCAPTANOS:



La reacción entre el mercaptano y el grupo epóxico transcurre a temperatura ambiente, sin embargo la introducción de una especie básica tal como la amina terciaria acelera la reacción de curado. Los polisulfuros son utilizados en una proporción de 1:1 o menos con resinas epóxicas, y pueden ser usados como agentes de co-curado con aminas alifáticas; estequiométricamente la cantidad de amina alifática es de 25 a 50% en peso por 100 partes de resina epóxica.

El sistema polisulfuro/epóxico se acelerará, con aminas terciarias, obteniéndose flexibilidad y resistencia a la tensión a temperatura ambiente. El sistema co-curantes amina/polisulfuro se desarrolla productivamente a temperaturas elevadas.

#### AMINAS CICLOALIFATICAS.

Las aminas cicloalifáticas producen resinas curadas mejorando la resistencia térmica y dureza. La temperatura de transición del cristal es parecida a la de las aminas aromáticas, en donde, el porcentaje de elongación es el doble. Porque las aminas cicloalifáticas son menos reactivas que las poliaminas alifáticas, sus resultados dan un tiempo mayor de vida en envasado y aumenta el poder de fusión.

#### POLIAMIDAS.

Las poliamidas más utilizadas son productos de condensación

de la dimerización de ácidos grasos y aminas alifáticas, tales como, la dietilentriamina. Los rangos de pesos moleculares están adaptados para convertir a las poliamidas en agentes curantes versátiles, para una gran variedad de aplicaciones en los adhesivos epóxicos, las cuales reaccionan con el grupo epóxico a través de los grupos de aminas funcionales no reactivos.

Como resultado de sus pesos moleculares relativamente altos, la proporción de poliamida a epoxi es despreciable a comparación con las de bajo peso molecular. Las poliamidas tienen ventajas de curado y mejoran la adhesión, sin embargo son muchos más oscuras que las poliaminas. Los pesos moleculares de las poliamidas varían, dando con ello diferentes grados de compatibilidad con las resinas epóxicas. Una propiedad óptima de la mezcla poliamida/epoxi es que reacciona antes de ser aplicada; la reacción parcial asume una compatibilidad y esto es conocido como periodo de inducción. No obstante, tienen largo tiempo de almacenamiento o vida útil por lo que el periodo de inducción es despreciable. El curado de poliamida pierde su fuerza estructural rápidamente con el incremento de la temperatura, esto limita el uso de los adhesivos, los cuales no deben estar sujetos a la misma.

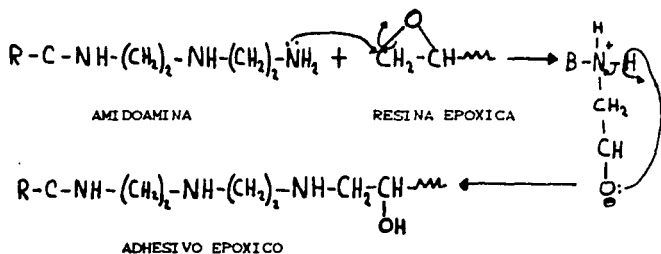
REACCION:



#### AMIDOAMINAS.

Son derivados de los ácidos carboxílicos monobásicos y poliaminas alifáticas. Como las poliamidas, las amidoaminas pueden ser usadas en un rango óptimo como aditivos para realizar las propiedades específicas de la resina epóxica. La reactividad de las amidoaminas con las epoxi tienen serias ventajas sobre las aminas alifáticas y poliaminas, la razón de mezclado es más conveniente, incrementa la flexibilidad en mayor proporción que las poliaminas alifáticas, además la viscosidad es baja, así como el color con respecto a las poliamidas.

REACCION:



#### AGENTES CATALITICOS.

Los agentes curantes catalíticos, son un grupo de compuestos, los cuales promueven a los grupos epóxicos para la reacción de curado, sin ser consumidos en el proceso. Los sistemas de un paquete son estables y pueden ser desarrollados con muchos

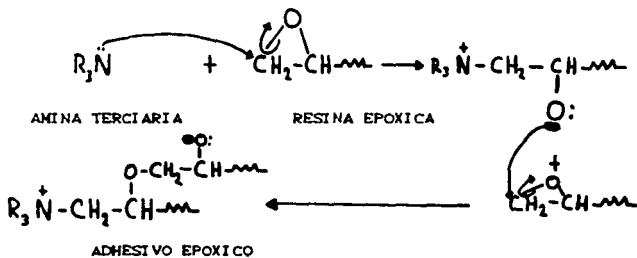


compuestos de este tipo, tales como: los complejos de trifluoruro de boro. Las aminas terciarias y las sales de aminas tienen vida útil, generalmente, de 2 a 24 hrs. Las catalisis latentes son activadas por calor y causan la disociación de la actividad catalítica por medio de bloqueo. La cantidad de catalizador puede variar de 2 a 10 phr; para determinar la razón de proporción del catalizador y resina se evalúa dependiendo de las propiedades máximas del adhesivo.

Por lo general, los agentes curantes catalíticos son:

- Bencildimetilamina (BDMA).
- Trifluoruro de boro-monoetilenamina (BF<sub>3</sub>.MEA).
- 2 Metilimidazol (2-MI).

REACCION: (con amina terciaria)



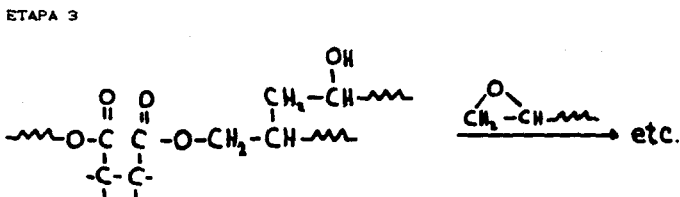
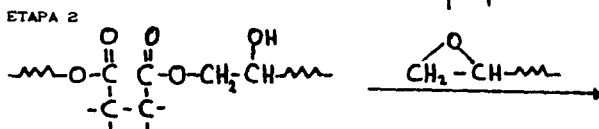
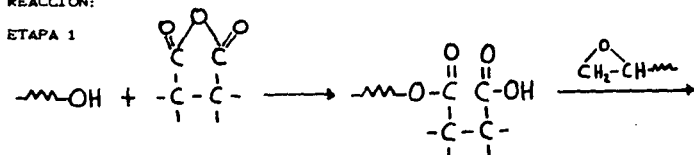
ANHIDRIDOS:

Líquidos o sólidos pueden usarse como agentes curantes para

las resinas epóxicas. La reactividad de algunos anhídridos con las epoxi es baja, por lo que usualmente se utiliza una amina terciaria como catalizador, en una proporción de 0.5-3% para acelerar el tiempo de gelificación; la cantidad óptima depende generalmente del anhídrido, así como la concentración, las cuales reducen la temperatura elevada de funcionamiento.

La reactividad de anhídridos con grupos epóxicos es compleja, puede reaccionar en medios ácidos obteniéndose casi los mismos resultados que en el caso de las aminas. Comparativamente, los sistemas de curado con aminas, el curado con anhídridos tiene mayor resistencia.

REACCION:



#### POLIAMINAS AROMATICAS.

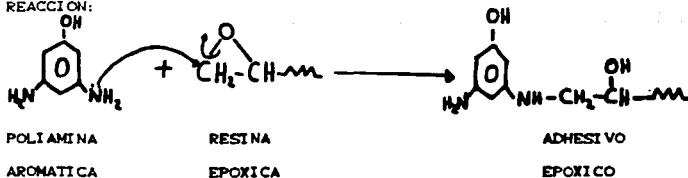
Las poliaminas aromáticas son de peso molecular más alto en relación a su funcionalidad, por lo que se necesita mayor cantidad para el curado de la resina epoxi, los agentes curantes más importantes de éste grupo son:

- Meta-fenilendiamina.
- 4,4-diaminodifenilmetano.

Las poliaminas aromáticas son menos higroscópicas que las poliaminas alifáticas y, en condiciones normales, requieren calor para el curado (más de 100°C), excepto algunas diaminas aromáticas en particular, la 4,4-diaminodifenilmetano que puede curar a temperatura ambiente, incorporando junto con la resina y la amina aproximadamente un 20% de plastisante, como el dibutilftalato, una pequeña cantidad de un ácido monocarboxílico, tal como, ácido acético, acelerará el curado con poliaminas aromáticas. La reactividad relativa por orden decreciente de tres poliaminas aromáticas utilizadas frecuentemente son:

- Meta-fenilendiamina.
- Diaminodifenilmetano.
- Diaminodifenilsulfona.

REACCION:



### 2.3 CARGAS.

Las cargas son bastante utilizadas en los adhesivos epóxicos, pueden ser de bajo costo como la arena, óxido de aluminio, o costosos como las hojuelas de plata. La razón principal de usar cargas es la de reducir costos, hay otras razones como es alterar el estado físico del adhesivo, aún sin curar, haciéndolo más espeso y con ello se crea tixotropía parcial. Las cargas reducen por desplazamiento, el encogimiento del adhesivo y al mismo tiempo aumenta la resistencia de la unión hasta 100%. Ciertas cargas inorgánicas como el óxido de aluminio, asbesto y silicatos, aumentan la resistencia de la unión y dando al mismo tiempo estabilidad a altas temperaturas, también pueden aumentar o disminuir la densidad.

Añadiendo a la resina epoxi microbalones fenólicos, se logra un adhesivo de baja densidad, pero el mismo volumen de óxido de fierro aumenta la densidad 3 o 4 veces; se puede reducir el coeficiente de expansión térmica en un rango amplio de temperatura, a pesar de todo esto, las propiedades físicas disminuyen con la cantidad de carga contenida, por lo que muchas formulaciones contienen solamente la cantidad de carga necesaria para, mantener la resistencia de la unión lo suficiente como para soportar los esfuerzos a los que se someterá la junta adhesiva. La resistencia química puede ser mejorada por ciertas cargas,

principalmente los silicatos; el carbonato de calcio en un medio ácido, reduce la resistencia química notablemente. Controlan las propiedades eléctricas del adhesivo, las cargas metálicas como el aluminio, fierro, cobre, níquel, reducirán el aislamiento del epoxi pero, la mica lo aumentará; la resistencia del arco mejorará con el silicato de circonio.

Otras propiedades que pueden modificarse por medio de cargas son: color y opacidad, el tiempo de servicio de la junta, el módulo y esfuerzo de tensión, dureza, resistencia a la abrasión, maquinabilidad, etc., las cuales aumentarán o disminuirán de acuerdo al tipo de carga, volumen y grado utilizado en el adhesivo.

Existen por supuesto algunos inconvenientes de utilizar ciertas cargas, por ejemplo: algunas son corrosivas para los metales, otras harán a la junta más sensible a la humedad y pueden degradar la fuerza cohesiva del adhesivo, y algunas otras atacan químicamente al adherente.

CARGAS UTILIZADAS EN ADHESIVOS EPOXICOS

CARGA	GRAV. ESP.	PROPIEDAD
Aluminio	2.7	impacto
Oxido de aluminio	4.0	Resis. Abrasiva
Silicato de aluminio	3.2	extendedor
Trioxido de antimonio	5.7	retarda la flama
Fibras de asbesto	3.0	reforzante
Sulfato de bario	4.5	extendedor
Carbonato de calcio	2.7	extendedor
Sulfato de calcio	2.3	extendedor
Negro de humo	1.8	reforzante y color
Cobre	8.9	maquinabilidad
Fibra de vidrio	2.6	reforzante
Gráfito	9.2	lubricidad
Fierro	9.0	resis. abrasiva
Oxido de fierro	2.9	magnetismo,color
Caolin	2.5	extendedor
Plomo	11.2	contra radiación
Mica	2.8	resis. eléctrica
Plata	10.5	cond. eléctrica
Zinc	7.1	adherencia y resis. corrosiva.
Dioxido de titanio	4.0	color
Carburo de silicon	2.4	resis. abrasiva

## 2.4 FLEXIBILIZANTES Y PLASTISANTES.

Normalmente los sistemas epóxicos pueden hacerse más flexibles, añadiéndoles moléculas de cadenas largas, que pueden ser no reactivas (plastisantes) o escasamente reactivas (flexibilizantes). Las cadenas largas reactivas de los flexibilizantes le dan flexibilidad interna a las cadenas moleculares, mientras los plastisantes no-reactivos, permiten un resbalamiento entre las moléculas y la distorsión temporal.

Los compuestos de tiocol polisulfuro, son compatibles con las resinas epóxicas, son polímeros líquidos utilizados como flexibilizantes incorporándose al adhesivo, al cual se añade un agente curante. Un gran número de líquidos orgánicos de punto de ebullición alto, los cuales se clasifican como plastisantes, son compatibles con las resinas epoxi tipo Bisfenol A. Aunque sustancialmente inertes, tienen un efecto flexibilizante menor o mayor, en proporción a la cantidad añadida y, se utilizan sobre todo en aplicaciones no estructurales para aumentar la resistencia a los esfuerzos de exfoliación. Por ejemplo:

- Polipropilenglicol.
- Ciclohexanol.
- Diacetona.
- Fenil (cellosolve).
- Dibutil ftalato.

## 2.5 DILUYENTES.

Los diluyentes son utilizados principalmente, para reducir la viscosidad de un adhesivo epoxi, y pueden ser reactivos o no reactivos. Los diluyentes reactivos son aquellos que quedan confinados dentro del sistema curado y tienen efectos degradantes sobre las propiedades de la junta. Los no-reactivos, no reaccionan químicamente ni con la resina, ni con el agente curante y pueden alterar seriamente las propiedades de la junta. Los diluyentes pueden utilizarse también para:

Aumentar o disminuir la resistencia al impacto y la flexión.

Aumentar o disminuir la estabilidad del adhesivo curado a temperaturas altas o bajas.

Mejorar o modificar la resistencia química, las propiedades eléctricas, la resistencia a la flama.

Reducir o aumentar la duración de la junta en servicio.

Un diluyente reactivo, es un líquido de baja viscosidad conteniendo generalmente grupos epóxidos; algunas de las cicloléfinas epoxidadas con perácido son también utilizadas; aquellos diluyentes que son diepóxidos tienen solamente un ligero efecto sobre la resistencia, cuando se añaden en pequeñas cantidades, pero suficientes para disminuir la viscosidad de los adhesivos epóxicos; en cambio los monoepóxidos, pueden reducir mucho la resistencia de la junta a temperaturas elevadas.



DILUYENTES REACTIVOS	VISC. (cp. a 25°C)	P. ebul. (°C)
Alil glicidil éter	1	154
Butil glicidil éter	3	170
Fenil glicidil éter	6	245
Cresil glicidil éter	25	265
Alcohol furfural	5	170
Trifenil fosfato	15	260

DILUYENTES NO REACTIVOS	P. ebul. (°C)
Dibutil ftalato	340
Dioctil ftalato	366
Bifenil clorinado	390
Poliétilen glicol	300
Aceite de pino	215
Aceite de petróleo	290
Metil etil cetona	79
Tolueno	110
Xileno	114
2-Nitro propano	120
Dimetil formamida	153
Alcohol butírico	99

Por otra parte, cuando los agentes curantes no tienen suficiente vida útil con respecto a las resinas, se recurre a una separación física deteniendo la producción de una parte del adhesivo, entonces, la fabricación se llevará acabo con una resina y endurecedor nuevos, listos para formar la película adhesiva curada con calor y presión.(ref.20). La microencapsulación es una técnica de separación.

Los agentes curantes anhidros son para curar a temperatura elevada, los complejos estánicos clorados a temperatura ambiente y ambos son endurecedores encapsulados (ref.21). Las poliaminas encapsuladas pueden ser utilizadas, pero tienen vida útil limitada (ref.22), se encapsulan en forma de gelatina, siempre y cuando sean insolubles en agua (ref.23).

Otra alternativa es la encapsulación de la resina, por medio de reacciones superficiales con complejos de  $BF_3$  (ref.24). La estabilidad de los adhesivos se ha logrado a base de resinas encapsuladas y con una amina en fase libre (ref.25). también se recomiendan los complejos de  $BF_3$  (ref.26).

Los tiempos de vida útil dependen de las condiciones producidas por el rompimiento de la capsula de resina, y el mezclado de los componentes será la limitante para esta técnica.

Los componentes epóxicos que curan sin la aplicación de calor, son requeridos para trabajar en condiciones extremas de bajas temperaturas y alta humedad. La efectividad de las composiciones epoxi-amina en estas condiciones, reducirán su actividad debido a la temperatura, absorción de agua y bioxido de carbono, la absorción de cualquiera de ellos reduce el grado de curado y la fuerza de adhesión. La combinación de algunos materiales especiales pretenden dar efectos poco energéticos para superar las condiciones difíciles en la junta, esta mezcla puede ser totalmente compleja, por lo tanto la mezcla de endurecedores a base de poliamina etilénica, dicianidiamina es propuesta para condiciones extremas (ref.27). Estos problemas afectarán al adhesivo cuando sea aplicado en sistemas acuosos (ref.28), por lo que los productos mencionados anteriormente son recomendados para uso industrial; la absorción de  $CO_2$  es un factor poco importante. La absorción de humedad en climas cálidos se reducirá con el empleo de endurecedores tipo aminico de alto peso molecular, la adición de poliaminas alifáticas glicidilicas es conveniente (ref.29).

A los polimercaptanos se les adiciona aceite de pescado, proporcionandoles algunas características para la aplicación en condiciones extremas (ref.30). Tales formulaciones deberán ser muy reactivas, ya que trabajan a bajas temperaturas, por lo que frecuentemente se les adicionan aditivos para acelerar el curado, sin embargo la temperatura disminuirá y, el desplazamiento de agua

por la superficie de la junta responderá a este problema. Los anhídridos fluorados se sugieren para dar buena humectación a la superficie, pero cuando actúan como agentes curantes son hidrófobos (ref.31).

El requerimiento más importante del cual depende la junta adhesiva es la vida de servicio, la cual deberá ser lo suficientemente grande para los propósitos de envasado. La humedad, temperatura y cargas juegan una parte importante para la determinación de la misma. Debido a que la durabilidad varía en la película adhesiva, queda claro que los esfuerzos son los causantes de los posibles cambios en la junta. Para determinar este factor se utilizaba la técnica del péndulo de torsión, pero actualmente se usa un sistema de absorción de energía aplicado con fuerza. Se ha encontrado que exponiendo un sistema epoxi-poliámidoamina a alta humedad, resulta una disminución en el módulo dinámico (ref.32), por lo que a 40°C se reduce la transición térmica; estos efectos se pueden invertir por deshidratación. Efectos similares se observan cuando se combina resina epoxi con un material termoplástico (ref.33).

La durabilidad de las juntas traslapadas, de un adhesivo epoxi-poliámidoamina depende del grado de curado, por lo que un exceso de alguno de ellos puede afectar al sistema (ref.34).

A elevadas temperaturas los polimeros empiezan a ser susceptibles al desplazamiento. La caída de la junta en los adhesivos epoxi-nylon muestran las tres etapas clásicas de decaimiento, en condiciones de fuerza inicial que es aproximadamente igual al límite de elasticidad (ref.35). Esto es otra forma de probar la durabilidad de la junta adhesiva por medio de sus propiedades de fractura. Además se ha experimentado con las juntas de doble traslape (ref.36), recomendandose que se realicen con cuñas estandarizadas de metal (ref.37). Otra forma de determinar la vida útil del adhesivo es por medio de exposiciones a alta humedad por 24 horas (ref.38).

Después de analizar cada componente que interviene en la elaboración de un adhesivo epóxico, así como sus propiedades y condiciones de curado, se darán a conocer algunas resinas epoxi comerciales, agentes curantes, cargas y usos, en cada caso se observarán sus propiedades y características más sobresalientes.

RESINAS EPOXICAS USADAS EN ADHESIVOS

TIPO	VISCOSIDAD A 25° C.	PESO EPOXICO EQUIVALENTE	PRODUCTOS COMERCIALES	OBSERVACIONES
RESINA DE BAJA VISCOSIDAD	4000 - 6000	170 - 180	D.E.P. 330 (D.E.P. 4.1) EPOX 330 (SMELLS) ARALDITE SY 6004 (CIBER 55-61) EPOXY 37-15 (ARLCO-HOLD)	INTENCIONALMENTE PARA EL COLOCACION STEP DEL SISTEMA A.
RESINA DE MEDIA VISCOSIDAD	7000 - 10000	175 - 180	D.E.P. 100 D.E.P. 380 ARALDITE SY 6002 EPOX 325 EPO-RES 809	NO SON COMPLETES EN RESINA DE BAJA VISCOSIDAD.
LIGERAMENTE ESTACAP	11000 - 14000	180 - 195	D.E.P. 701 ARALDITE SY 6010 EPOX 328 EPO-RES 810 EPO-TUF 37-141	INCLUIDOS EN RESINAS EPOXICAS.
ALTA VISCOSIDAD	16000 - 20000	200 - 250	D.E.P. 317 D.E.P. 327 ARALDITE SY 6020 EPOX 324 EPO-TUF 37-141	
ESPECIAL	70 - 85°C	300 - 375	D.E.P. 661 EPOX 1001 EPO-RES 800°C. EPO-TUF 37-601 ARALDITE 37-7971	SACD PUNTO DE SOLIDIFICACION.

AGENTES CURANTES PARA ADHESIVOS A BASE DE RESINAS EPOXICAS

AGENTE CURANTE	RELACION DE MEZCLA	TEMPERATURA DE CURADO	NOMBRES COMERCIALES Y COMPAÑIAS
JANINAS ALIFATICAS DITILEN-TRIAMINA	8 - 10	R.T. 150	DUEM, THE DOW CHEMICAL COMPANY
TRITOLENTRAMINA	10 - 12	R.T. 150	AMICURE PACIFIC ANCHOR CHEMICAL CO.
TRICETILTRIFERAZIN	20 - 25	R.T. 100	EPO-TUF, REISHOLD CHEMICALS
<b>AMINAS AROMATICAS</b>			
METILENODIANILINA	51 - 55	175 (2 HRS.)	DUITANE DUCON.
4,4' DIAMINODIFENIL SULFONA	30 - 34	175 (2 HRS.)	
MSA/MPDA EPOXIDICA		R.T. + TAMB.	AMICURE, AIR PRODUCTS AND CHEMICAL, INC., MAGARINE (PACIFIC ANCHOR,) EPO, (SHELL CHEMICAL COMPANY.)
<b>AMINAS CICLOALIFATICAS</b>			
ES UNA VARIEDAD DE PRODUCTOS MODIFICADO- RES QUE ANUNCIAMOS POR LOS EFECTOS DEL A SERVO CURANTE.		R.T. 150	AMICURE, AIR PRODUCTS AND CHEMICAL, INC., MAGARINE, PACIFIC ANCHOR, MAGARINE, (SHELL), EPO-TUF, REISHOLD, VEPEXINE, SHELL CORPORATION.
<b>POLIAMIDAS</b>			
AMPLA VARIEDAD DE A- GENTES CURANTES CON OY VARIOS TIPOS DE REED- NECULARES.		R.T. 70 (2 HRS.) (R) 100	TIPO LOS AGENTES CURANTES DE LAS POLIAMIDAS OBTIENEN LOS MEJORES RE- SULTADOS EN CUANTO A SUS PROPIE- DADES.

**CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DE LOS AGENTES CURANTES EPÓXICOS**

<u>TIPO</u>	<u>VENTAJA</u>	<u>DESVENTAJA</u>	<u>APLICACIONES</u>
POLEOLIFÁTICO	INSOLUBLE A LA CLARIDAD, PERO FLEXIBLE.	DURO, FUNCIONALIDAD QUÍMICA A ELEVADAS TEMPERATURAS.	ADHESIVOS Y SELLADORES
ACTIVOS ALIFÁTICOS	DURO, TEMPERATURA BIENA, ES DE BAJA COSTO DE FORMULACIÓN.	EL PEGELADO ES DIFÍCIL, ES IMPORTANTE PARA LA PIEL Y VAPOR.	IND. CIVIL, ADHESIVOS, ENCAPULADOS ELÉCTRICOS Y FUNDIDOS.
POLEOLIFÁTICO	DURO A TEMPERATURA BIENA, BUENA FLEXIBILIDAD, RESISTENCIA BUENA A TERCERA.	ALTO COSTO DE FORMULACIÓN, SON DE ALTA VISCOSIDAD, BAJA RESISTENCIA AL CALOR, PRESIÓN BAJA DE VAPOR.	IND. CIVIL, ADHESIVOS, FUNDIDOS Y REUBRINTOS.
AROMÁTICAS	RELATIVIDAD FLEXIBILIDAD, ALTA PIEL, MEJORADO PACTO.	POCA FUNCIONALIDAD A TEMPERATURAS ELEVADAS, TIENE BAJA COMPATIBILIDAD CON RESINAS EPÓXICAS.	ADHESIVOS PARA CONSTRUCCIÓN EN LANTERAS DE CONCRETO.
ACTIVAS AROMÁTICAS	ACEPTADA RESISTENCIA AL CALOR BUENA RESISTENCIA A TERCERA.	SOLIDAS A TEMPERATURAS AMBIENTES, DURAS LENTAS, A ALTAS TEMPERATURAS.	UNIONES DE TUBERÍA, EN CAPULADOS ELÉCTRICOS Y ADHESIVOS.
DIORGANOFOSFÓRICO	DURAS LATENTES BUENAS PROPIEDADES A ELEVADAS TEMPERATURAS, BUENAS PROPIEDADES ELÉCTRICAS.	DURAS PROLONGADO A TEMPERATURAS ELEVADAS, INSOLUBLE EN RESINAS.	RECURSIVOS FLEXIBILIZADOS Y LANTERAS ELÉCTRICAS.
DIORGANOFOSFÓRICO	TIEMPO DE ALARGAMIENTO LARGO, ALTA RESISTENCIA A TERCERA.	DURAS PROLONGADO A TEMPERATURAS ELEVADAS, BAJA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.	ADHESIVOS, ENCAPULADOS ELÉCTRICOS, FUNDIDOS, REUBRINTOS, FLEXIBILIZADOS, LANTERAS ELÉCTRICAS.
DIORGANOFOSFÓRICO	ALTA RESISTENCIA AL CALOR Y ALTA RESISTENCIA QUÍMICA.	DURAS PROLONGADO A TEMPERATURAS ELEVADAS, BAJA DE PEGELADO RÁPIDO.	ENCAPULADOS ELÉCTRICOS, ADHESIVOS, UNIÓN DE TUBERÍA.



EFFECTOS DE CARGAS EN LAS PROPIEDADES DE ACUERDO EN SISTEMAS EPÓXICOS

ABRACION	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	MODULACIÓN	IMPACTO	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	TEOTROPÍA
ACTIVOS	DIÓXIDO DE SILICIO	ALUMINA	MICA	ALUMINA	ESTRUCO COLENTAL
	SILICATO DE CALCIO	SILICA	SILICO	METALES	SENTONIAS.
	SULFO DE ALUMINIO	MOLIBDENO			
	SULFO DE COBRE				
COITO	.	I	O	O	.
EXOTERMIA	O	O	O	O	.
CONDUCTIVIDAD	.	I	.	.	.
REFLEXION TERM. CAL.	.	I	.	I	V
MODULACION	.	O	.	.	.
ABRACION	N	.	I	O	O
IMPACTO	.	O	.	.	.
TENSION	O	N	O	V	V
FLEXIBILIDAD	C	N	O	V	V
COMPRESION	O	V	O	V	V
CONET. DIELECTRICO	I	I	.	I	N
TEOTROPIA	V	N	V	V	.

INCREMENTAL	ANNO INCREMENTAL	INCREMENTAL
-------------	------------------	-------------

USOS INDUSTRIALES  
DE ACUERDO AL AGENTE DURANTE:

AGENTE DURANTE	AVIACION	AUTO-MOTRIC	CONSTRUCCION	ING. CIVIL	INSTALACIONES OPTICAS	INSTALACIONES ELECTRICAS	CONS. NAVAL	MADERA
FOLIAMINAS	X	X	X	X	X	X	X	X
FOLIAMIDAS	X	X	X	X	X	X	X	X
ALCOH. ESTERES	X	X	X	X	-	-	-	-
FOLISULFURICOS	X	-	-	X	-	-	X	-

## 2.6 APLICACION DE LOS ADHESIVOS EPOXICOS.

El método para aplicar un adhesivo es tan importante como la elección. La capa adhesiva deberá ser aplicada en estado líquido, formando una capa delgada y uniforme, evitándose la creación de burbujas. La configuración de las partes a ser cubiertas por el adhesivo y la mecánica seguida en juntar y curar la resina, determinará si una línea de producción es práctica. El tamaño de la producción (número de unidades manipuladas en un cierto tiempo) controlará la decisión final con respecto al gasto de la línea.

A continuación se describen brevemente las ventajas y desventajas de los métodos comunes para la aplicación de adhesivos, entre los que encontramos por:

- Inmersión.
- Aspersión.
- Brocha.
- Rodillos.
- Barril rotatorio.

### INMERSION:

Permite un control sobre el espesor de la película, asegurando un total recubrimiento y un bajo consumo de adhesivo; una vez establecido el equipo, se requiere de un mínimo de supervisión y mantenimiento. Para aquellos materiales en que solo

algunas partes necesitan ser sumergidas en el adhesivo, la inmersión manual generalmente es la más conveniente y requiere de poco equipo.

En gran escala, la línea de inmersión puede ser mecanizada y combinada con la preparación y curado del adhesivo. Esto asegura una máxima economía y automatización de la operación.

#### ASPERSION:

Este método se utiliza cuando se requiere de un recubrimiento uniforme por parte del adhesivo. Minimiza flexiones y desgarras en la junta, asegurando un trabajo de alta calidad y control excelente. Sin embargo, este método requiere más equipo y mayor supervisión.

Para un completo recubrimiento, las partes deberán rotarse. Para obtener costos de operación bajos en sistemas de transmisiones, las pistolas de aire automáticas se utilizan en conjunto con las unidades de limpieza y curado. Las pistolas de aire manuales son utilizadas en pequeña escala.

#### BROCHA:

Es recomendado ocasionalmente en trabajos a pequeña escala. Se obtienen recubrimientos extremadamente gruesos. Sin embargo, presentan el inconveniente de que las partes recubiertas con la

brocha fácilmente se contaminan.

#### RODILLOS:

Son ventajosos para grandes áreas planas u objetos cilíndricos. El estampado es también utilizado en telas cuando se desea aplicar el adhesivo unicamente sobre la superficie.

Si se utilizan rodillos de pintura, el adhesivo deberá ser lo sufucientemente espeso. Se deberá tener cuidado en tomar la cantidad necesaria de adhesivo para asegurar un recubrimiento uniforme. Cuando se trate de columnas o tuberías, el adhesivo se puede aplicar por medio de dos rodillos de fieltro sumergidos en el adhesivo.

#### BARRIL ROTATORIO:

En un barril rotatorio se carga tanto el adhesivo, como las partes que se van a recubrir. Ofrece costos bajos y recubrimientos uniformes en materiales muy pequeños. Los materiales ya recubiertos por el adhesivo pueden ser descargadas en las charolas de secado o curado, o también se pueden hacer pasar una corriente de aire caliente a través del barril.

Las formas geométricas de los materiales que se van a cargar en el barril, así como la abrasión durante la aplicación del adhesivo por este método, son factores importantes. Las puntas

agudas y las esquinas de los materiales que se necesitan recubrir, hacen impracticable éste método.

Además de los métodos mencionados anteriormente, existen también la aplicación por espátula, que es más económica, pero no es muy recomendable, ya que el espesor de la película adhesiva no será uniforme.

Otros factores que se deben tomar en cuenta son:

- Temperatura ambiente.
- Humedad relativa ambiente.

los cuales influyen directamente en el curado del adhesivo, y por lo tanto, afectan las propiedades finales de la junta. Es conveniente conocer la humedad relativa cuando se realice una aplicación, ya que esta relacionada con la temperatura de rocío del adhesivo, la cual debe cumplir la siguiente regla establecida:

"Toda superficie que este en contacto con adhesivos epóxicos, debe estar 3°C arriba del punto de rocío."

por consiguiente este punto es fácil determinarlo debido, a que existen tablas en la literatura; en donde conociendo la humedad relativa del material y la temperatura ambiente se determina el punto de rocío.

Por último cabe mencionar, que es también importante el espesor de la película adhesiva, la cual esta relacionada con la

temperatura de rocío cuando se encuentra en condiciones de humedad y si esta seca nos sirve para determinar el rendimiento del adhesivo, conociendo el % de sólidos en volumen y utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ RENDIMIENTO} = \frac{30.4 (S.V)}{100 (G:P:S)}$$

donde:

S:V = sólidos en volumen.

G:P:S = grosor de la película seca.

Todo lo mencionado con anterioridad, es importante para conocer y determinar la capacidad del adhesivo epóxico seleccionado.

CAPITULO

3



## PRUEBAS A LOS ADHESIVOS EPOXICOS

Las pruebas en la junta adhesiva persiguen dos finalidades:

- Determinar el probable comportamiento del adhesivo durante su servicio.
- Controlar la calidad del producto.

Por lo que los adhesivos son sometidos a un gran número de pruebas, tanto físicas como químicas, las cuales pueden ser:

- Viscosidad.
- Tiempo de gelificación.
- Pegajosidad o takin.
- Contenido de sólidos.
- Contenido de volátiles.
- Penetración.
- Velocidad de curado.
- Dureza.
- Contenido epóxico.

Estas son una parte de las múltiples pruebas que se aplican a los adhesivos epóxicos.

Muchos de estos métodos han sido preparados o adoptados por la AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM), en su libro D-14 sobre adhesivos, en donde, se encuentran las especificaciones de las pruebas, las prácticas recomendadas y las definiciones en

forma detallada. Algunas de éstas pruebas pueden ser aplicadas de forma provechosa practicamente a todos los adhesivos, mientras que otras son específicas para un determinado tipo de adhesivo.

Estas pruebas son efectuadas por el fabricante y algunas veces por el usuario, para asegurarse de la calidad del adhesivo. A continuación describiremos algunas pruebas de las mencionadas anteriormente.

### 3.1 VISCOSIDAD.

Es la propiedad más importante, la medición de ésta es el método más conveniente para detectar cambios en la densidad, la estabilidad y el peso molecular de los adhesivos, así como la propiedad de mojado.

Para ensayos de rutina y control de adhesivos solo son necesarias cifras comparativas, de aquí que muchos instrumentos no proporcionan lecturas en unidades de viscosidad absoluta. Se mencionarán algunos instrumentos de uso general.

#### a) Viscosímetro de Tubo en forma de U.

Es pequeño y sencillo pero, solo se utiliza cuando son líquidos de baja viscosidad, la cual se determina por el tiempo empleado (en segundos) por un volumen de líquido dado, en pasar a través de la sección capilar del instrumento.

b) Viscosímetro de Bola.

Es sencillo y económico, si se conoce la densidad del líquido es un instrumento absoluto. Es un tubo de cristal convenientemente calibrado más una bola patrón de acero, y se observa el tiempo (en segundos) que tarda en caer a través de una distancia determinada.

c) Viscosímetro de Burbuja de aire Gardner-Holdt.

Se anota el tiempo invertido por una burbuja de aire en ascender por el líquido. Se puede repetir la operación invirtiendo los tubos; se utilizan juegos de tubos patrón conteniendo aceites de viscosidad diferente, para establecer el intervalo de viscosidades buscado.

d) Viscosímetros Rotacionales. (ERF 13-70)

Ferranti, Brookfield, Stormer y Debbie-Mc Innes.

Son útiles cuando se mide la viscosidad de líquidos no newtonianos. Básicamente, consiste en un cilindro exterior que gira a una velocidad constante, siendo transmitido el impulso rotativo a través del líquido a un cilindro inerte, que de ese modo actúa contra la resistencia de un muelle calibrado.

3.2 TIEMPO DE GELIFICACION. (erf 2-82)

El tiempo de gelificación, o vida útil de la mezcla, es el lapso de tiempo transcurrido desde que el agente curante se añade hasta que el sistema no es aprovechable.

En algunos casos en que el tiempo de gelificación es muy grande, el punto de transición no se detecta claramente, por lo que se ha estipulado, que la vida útil del adhesivo termina cuando la mezcla alcance una viscosidad de 500 poises. Los cronometradores mecánicos de la gelificación emplean instrumentos ligeros que operan cuando un émbolo encuentra cierta resistencia a su movimiento. (ASTM D 2471-71)

### 3.3 PEGAGOSIDAD O TAKIN.

Es la propiedad de un adhesivo de adherirse a otra superficie, por el solo contacto y puede determinarse con una máquina de prueba de la tensión y unos bloques patrón. Los resultados se reportan en lb/in<sup>2</sup> necesarias para separar los bloques.

### 3.4 ESTABILIDAD AL HIELO/DESHIELO. (MOM A 103 B)

Es una prueba importante para asegurar la estabilidad de los adhesivos de tipo emulsión en los cambios climáticos. Se exige que el adhesivo se ajuste a ciertos requerimientos de viscosidad y resistencia. Se almacena a 20°C durante 18 hrs., y se deshíela durante 6 horas sin agitación.

### 3.5 CONTENIDO EN SÓLIDOS. (ASTM D 1579-60 Y D 1582-60)

El contenido total en sólidos generalmente se determina, mediante el secado en estufa de una muestra de 2 a 5 grs. de adhesivo, en un disco de Petri, o similar hecho de acero inoxidable o aluminio previamente pesado. El calentamiento o curado es hasta peso constante; se pesa nuevamente y el porcentaje de sólidos puede determinarse por la siguiente fórmula:

$$\% \text{ SÓLIDOS} = \frac{\text{Peso después de calentar}}{\text{Peso antes de calentar}} \times 100$$

### 3.6 PENETRACION.

Puede determinarse, colocando una cantidad pesada de adhesivo en la parte superior de una pila de 2 a 3 hojas de papel Watman No.40, y cubrir el adhesivo con una pila similar, a continuación se presurizará a 7.0 Kg/cm<sup>2</sup> de 10 a 15 segundos. Se examina la penetración del adhesivo en el papel filtro.

### 3.7 VELOCIDAD DE CURADO. (astm d 1144)

Los adhesivos generalmente, necesitan para su curado calor o la adición de un agente curante, o ambos, con o sin presión.

Es conveniente, por lo tanto, estar enterado de la variación de resistencia de la unión con la velocidad de curado, es decir la fuerza desarrollada en la junta adhesiva, cuando se cura a diferentes ciclos de tiempo y a temperatura variante. Esto puede ser determinado por muestras de traslape, estiradas en una máquina de prueba, que han sido curadas a diferentes ciclos de temperatura y tiempo. Con los resultados obtenidos se construye una gráfica de esfuerzo  $\text{Kg/cm}^2$  vs temperatura.

### 3.8 DUREZA. (ASTM D 2240-81 Y ERF 9-82)

Puede indicar el avance de curado. Una muestra curada normalmente es probada su dureza con un durómetro (Olson o Shore), la lectura y la escala se reportan.

### 3.9 CONTENIDO DE VOLÁTILES.

El porcentaje de volátiles, es definido como el contenido de materiales gaseosos, por peso de adhesivo, que son liberados durante la reacción de polimerización del adhesivo curado. Naturalmente se desea que el porcentaje de volátiles sea bajo para evitar el problema de gas atrapado en el adhesivo curado. Una pequeña cantidad del adhesivo se coloca en un disco Petri previamente pesado, y se expone durante 10 minutos a  $125^\circ\text{C}$ , en un horno de convección. Se enfria a la temperatura ambiente y se

pesa nuevamente.

Los resultados se calculan por la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Volátiles} = \frac{A - B}{A} \times 100$$

donde:

A = Peso de la muestra antes de la prueba.

B = Peso de muestra después de la prueba.

### 3.10 CONTENIDO EPOXICO.

El equivalente epóxico de un adhesivo es el peso de la resina expresada en gramos, contenidos en un gramo de grupo epóxico; debe determinarse experimentalmente y, puesto que influye en las propiedades físicas y químicas del adhesivo es importante evaluarlo. El método convencional está basado en la hidrocioración de los grupos óxido de etileno. Con frecuencia se utiliza la piridina como disolvente, pero es preferible la dimetilformamida. La valoración se realiza con ácido perclórico en ácido acético y como indicador es el violeta de crisol, se valora hasta el vir.

Existen otros métodos de prueba como son:

- Resistencia química de los compuestos epoxi. (ASTM D 543-67)
- Absorción de agua de compuestos epoxi. (ASTM D 570-77, ERF 28-82)
- Propiedades tensoras de compuestos epoxi. (ASTM D 638-80, ERF 8-82)

- Resistencia al calentamiento de compuestos epoxi. (ASTM D 648-72, ERF 17-82)
- Propiedades compresivas de compuestos epoxi. (ASTM D 695-80, ERF 8-82)
- Propiedades flexoras de compuestos epoxi. (ASTM D 790-80, ERF 5-82)
- Tiempo de gelificación de compuestos epoxi. (ASTM D 2471-71, ERF 2-82)
- Esfuerzos cortantes en compuestos epoxi. (ASTM D 1002-72, ERF 15-82)
- Prueba de tensión en compuestos epoxi. (ASTM D 897)
- Prueba de exfoliación en compuestos epoxi. (ASTM D 1875-817)
- Prueba al impacto de compuestos epoxi. (ASTM D 930)
- Prueba al despegue en compuestos epoxi. (ASTM D 1062)

Estas pruebas son aplicadas para determinar la calidad de la junta , así como la del adhesivo.

Es evidente que el realizar todas las pruebas mencionadas anteriormente requieren de una gran cantidad de equipo, por lo que se decidió llevar acabo las más representativas y, por supuesto que estuvieran dentro de las posibilidades del laboratorio.

Algunas de las pruebas realizadas son de manera alternativa es decir, que en un momento dado podrían aplicarse a los



materiales en lugar de las establecidas por la ASTM, las cuales tendrán el mismo propósito, determinar la calidad de la junta y del adhesivo, así como sus propiedades.

La mayor parte de las pruebas mencionadas se aplicaron a tres adhesivos epóxicos, los cuales son nombrados comercialmente:

- 1) Pegamento EPOXY normal. (Zep Marvil) (ref. 48)
- 2) Pegamento EPOXY 5 minutos. (Zep marvil) (ref. 48)
- 3) DEVCON 5 minutos. (Danco) (ref. 49)

A continuación se conocerán las características y propiedades de cada uno de ellos.

#### EPOXY NORMAL.

##### CARACTERISTICAS:

Pegamento epóxico de dos componentes (endurecedor y resina), que al mezclarse se obtiene un adhesivo muy efectivo para partes eléctricas, cerámica, metales y plásticos, así como de gran resistencia mecánica, química y al agua.

##### ESPECIFICACIONES:

###### RESINA

Apariencia física:

líquido viscoso

Color:

ámbar claro

Olor: característico

**ENDURECEDOR:**

Apariencia física: líquido viscoso

Color: ámbar o amarillo claro

Olor: característico

**ADHESIVO:**

Color: ámbar

Olor: característico

Tiempo de secado: 4 a 6 horas

Adherencia: 12 horas

Tiempo de gelado: 4 horas

**PROPIEDADES:**

Al secar la película formada tiene buena flexibilidad, lo cual es indispensable en un adhesivo. Esto se debe al sistema de curado a base de poliamidas.

Resistencia a la flexión:	25°C	17 000 a 20 000 psi
	120°C	110 000 psi
Resistencia a la tensión:	25°C	7 500 a 11 000 psi
Resistencia a la compresión:	321°C	$3.4-4.5 \times 10^2$ psi
Constante dieléctrica:	60 cps	3.3-5.1
Resistencia al aislamiento:		1-2 Megohm

Resistividad:	25°C	10 <sup>-6</sup> ohm
	100°C	9 X 10 <sup>-15</sup> ohm
	140°C	5 X 10 <sup>-12</sup> ohm
Dureza Shore a 25°C:	30 min.	66
	1 hr.	72
	4 hrs.	77
	1 día.	79
Absorción de agua:	24 hrs.	1.1 %

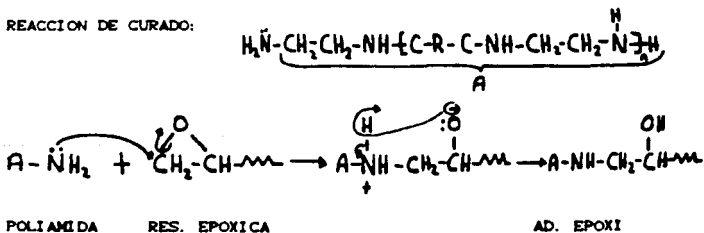
(después de una semana de curado)

Una vez seco no lo afectan los derivados del petróleo como la gasolina y nafta.

**PREPARACION:**

Tomar cantidades iguales de los dos componentes, en cantidad suficiente para la unión. Mezclar perfectamente los componentes hasta obtener una coloración ámbar uniforme.

**REACCION DE CURADO:**



EPOXY 5 MINUTOS.

CARACTERISTICAS:

Pegamento epóxico de dos componentes (resina y endurecedor), que al mezclarse se obtiene un adhesivo muy efectivo para partes eléctricas, cerámica, metales y plásticos, así como de gran resistencia mecánica, química y al agua.

ESPECIFICACIONES:

RESINA

Apariencia física:	líquido incoloro
Color:	ámbar claro
Olor:	característico

ENDURECEDOR

Apariencia física:	líquido viscoso
Color:	amarillo claro
Olor:	característico

ADHESIVO

Color:	ámbar claro
Olor:	característico
Tiempo de secado:	5 minutos
Adherencia:	4 a 6 horas
Tiempo de gelado:	4 minutos.

**PROPIEDADES:**

Al secar la película formada posee flexibilidad, lo cual es indispensable para un adhesivo. además, debido a que el endurecedor contiene polimeros mercaptanos y aminos, su tiempo de secado es rápido.

Resistencia a la flexión:	25°C	17 000 a 20 000 psi
	120°C	110 000 psi
Resistencia a la tensión:	25°C	7 500 a 11 000 psi
Resistencia a la compresión:	321°C	$3.4-4.5 \times 10^{-2}$ psi <sup>2</sup>
Constante dieléctrica:	60 cps	3.3-5.1
Resistencia al aislamiento:		1-2 Megaohm
Resistividad:	25°C	$10^{16}$ ohm
	100°C	$9 \times 10^{15}$ ohm
	140°C	$5 \times 10^{12}$ ohm
Dureza Shore a 25°C:	30 min.	66
	1 hr.	72
	4 hr.	77
	1 dia.	79
Absorción de agua (desp. de 1 sem. de curado):	24 hrs.	1.1%

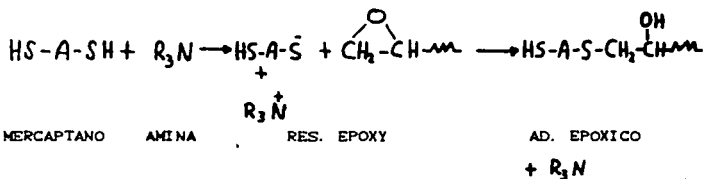
Una vez seco no lo afectan los derivados del petróleo como la gasolina y nafta.

**PREPARACION:**

Tomar cantidades iguales de los dos componentes, en cantidad

suficiente para la unión, mezclar perfectamente hasta obtener un color ámbar claro uniforme.

REACCION DE CURADO:



DEVCON 5 MINUTOS.

CARACTERISTICAS:

Adhesivo epóxico estructural, de dos componentes (resina y endurecedor), que endurecen a temperatura ambiente sin necesidad de presión, obteniéndose con ello uniones sumamente fuertes.

ESPECIFICACIONES:

RESINA

Apariencia física:	líquido viscoso
Color:	incolore
Olor:	característico

ENDURECEDOR

Apariencia física:	líquido viscoso
--------------------	-----------------

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Color: amarillo claro  
Olor: característico

ADHESIVO:

Color: amarillo claro  
Olor: característico  
Tiempo de secado: 3 a 5 minutos  
Adherencia: 1 hora  
Tiempo de gelado: 4 minutos

PROPIEDADES:

El curado de estos adhesivos se efectúa por medio de una reacción química entre la resina y el endurecedor (polisulfuros-aminas), y no por evaporación de solventes, por lo tanto no se contrae ni se modifica con el tiempo.

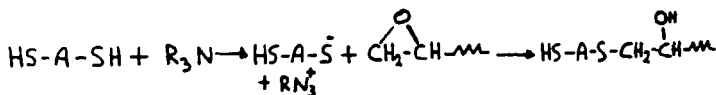
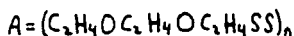
Viscosidad: 21°C líquido espeso  
Resistencia a la compresión: 21°C 742 Kg/cm<sup>2</sup>  
Constante dieléctrica: 490 v/m  
Dureza Shore: 85  
Volumen específico: 21°C 1.17 gr/cc  
Contracción durante el curado: 0.0013 cm/cm

Una vez seco tiene alta resistencia química a los derivados del petróleo, así como a los reactivos inorgánicos líquidos.

PREPARACION:

Tomar cantidades iguales de ambos componentes, mezclar perfectamente hasta obtener una coloración amarillo claro uniforme.

REACCION DE CURADO:



POLISULFURO

AMINA

RES. EPOXI

AD. EPOXICO  
 $+ R_3N$

A continuación se describirán las pruebas realizadas para la elaboración de este trabajo, así como los resultados obtenidos.



### 3.11 EXPERIMENTACION Y RESULTADOS.

#### ESTABILIDAD AL HIELO/DESHIELO. METODO MMM-A-193 B (ref. 51)

Se colocaron 0.1 gr de cada adhesivo epóxico (epoxy normal, epoxy 5 min., devcon 5 min.) en portaobjetos, se introdujeron a la estufa a 20°C durante 18 hrs., después se enfriaron a 15°C durante 6 hrs. De la misma manera se prosiguió para los intervalos: 25°C a 15°C y 20°C a 10°C. Obteniéndose los siguientes resultados.

EPOXY NORMAL	EPOXY 5 MIN.	DEVCON 5 MIN.
No sufrió ninguna alteración. Endureció normal, su color se conservó igual.	Su comportamiento y proceso de endurecimiento no se alteró, su color -- permaneció igual.	No se observó ningún cambio en el endurecimiento, aspecto físico, etc.

Estos resultados fueron obtenidos en condiciones normales de presión y temperatura ambientales.

En resumen, se puede decir que, los adhesivos epoxi no sufren ninguna alteración en sus propiedades fisicoquímicas al someterlos a cambios térmicos, los cuales se aumentarán con respecto a los establecidos en la literatura con el objeto de tener una visión

mas amplia acerca de esta propiedad en los compuestos epoxicos.

Esta prueba se realiza para predecir los posibles cambios en las propiedades y características de los adhesivos ante los cambios de temperatura, especialmente en climas cálidos.

#### PENETRACION O MOJADO.

Se colocó 0.1 gr. de adhesivo en la parte superior de una pila constituida por 3 hojas de papel Watman # 40, cubriéndose con otra similar; se presurizó por 30 seg., y 60 seg., en cada tiempo se utilizó una muestra respectivamente; la presión fue proporcionada por una prensa existente en el laboratorio. Esta prueba fue aplicada a cada uno de los adhesivos (epoxy normal, epoxy 5 min., devcon 5 min.) y para las siguientes presiones:

- 5 Kg/cm<sup>2</sup>.
- 10 Kg/cm<sup>2</sup>.
- 20 Kg/cm<sup>2</sup>.
- 30 Kg/cm<sup>2</sup>.
- 40 Kg/cm<sup>2</sup>.

obteniéndose los siguientes resultados.

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE PENETRACION.

P/t	EPOXY NORMAL	EPOXY 5 MIN.	DEVCON 5 MIN.
5 Kg/cm <sup>2</sup> .			
30 seg.	4 hojas	4 hojas	4 hojas
60 seg.	4 hojas	4 hojas	4 hojas
10 Kg/cm <sup>2</sup> .			
30 seg.	4 hojas	4 hojas	4 hojas
60 seg.	4 hojas	4 hojas	4 hojas
20 Kg/cm <sup>2</sup> .			
30 seg.	4 hojas	4 hojas	4 hojas
60 seg.	4 hojas	4 hojas	4 hojas
30 Kg/cm <sup>2</sup> .			
30 seg.	4 hojas	4 hojas	4 hojas
60 seg.	4 hojas	4 hojas	4 hojas
40 Kg/cm <sup>2</sup> .			
30 seg.	6 hojas	6 hojas	6 hojas
60 seg.	6 hojas	6 hojas	6 hojas

Analizando los resultados obtenidos, se puede concluir que para periodos cortos la penetración es independiente del tiempo y

con presiones mayores de 30 Kg/cm<sup>2</sup> aumenta como se observa en los datos obtenidos. para los tres adhesivos resulta la misma penetración, la cual se midió con base al número de hojas unidas.

Como es evidente, en este caso se amplió el rango de presión y de tiempo. lo cual nos permite conocer las variables involucradas en el fenómeno de la penetración.

CONTENIDO EN SOLIDOS. METODO ASTM D 1570-60 Y D 1582-60)

Se colocó 1 gr. de adhesivo epóxico en un crisol previamente llevado a peso constante, se introdujo en la mufla a la temperatura de 180°C durante dos horas, se dejó enfriar a temperatura ambiente y se peso nuevamente. Por medio de la siguiente formula obtuvimos el % de sólidos. Esta prueba fue aplicada a los tres adhesivos epóxicos (epoxy normal, epoxy 5 min., devcon 5 min.).

peso después de calentar

$$\% \text{ Sólidos} = \frac{\text{peso después de calentar}}{\text{peso antes de calentar}} \times 100$$

peso antes de calentar

1.06

EPOXY NORMAL:  $\% \text{ Sólidos} = \frac{1.07}{1.06} \times 100 = 99.06 \%$

1.07

1.17

EPOXY 5 MINUTOS: % Sólidos----- X 100 = 99.15 %.

1.18

1.02

DEVCON 5 MINUTOS: % Sólidos----- X 100 = 99.02%.

1.03

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observa que el porcentaje de sólidos en los adhesivos epóxicos es alto, por lo tanto se puede considerar que, al aplicar una cierta cantidad sobre cualquier superficie el 99 % de ésta se conservará, ya que no existe gran porcentaje de material volátil en los compuestos epóxicos. Con lo anterior se concluye que al formar una junta adhesiva con un epoxi, todas las necesidades requeridas por la misma estarán satisfechas.

#### DUREZA.

Se construyeron placas de adhesivo (epoxy normal, epoxy 5 min., devcon 5 min.), las cuales midieron 3 cm de diámetro por 2 cm de espesor, fueron colocadas en el durómetro Brinell formado por un penetrador (balín de 5 mm de diámetro), se les aplico una carga de 100 Kg., después se retiraron las muestras para proseguir a la medición de los diámetros de penetración por medio de un ocular Brinell, y se calcularon las durezas por la siguiente

formula:

$$HB = \frac{L}{C \left( \frac{D}{2} \right) \left( D - D^2 - d^2 \right)}$$

donde:

L = Carga aplicada.

D = Diámetro del balín.

d = Diámetro promedio de la penetración.

obteniendo los siguientes resultados.

ADHESIVO	DIAM. PROM. DE PENETRACION	DUREZA
EPOXY NORMAL	2.875 mm	14.00 Kg/mm
EPOXY 5 MIN.	2.925 mm	14.27 Kg/mm
DEVCON 5 MIN.	2.925 mm	14.55 Kg/mm

Por los resultados obtenidos, se determina que los adhesivos epóxicos se encuentran dentro de los límites especificados en la literatura, aunque la dureza fue medida en la escala Brinel los datos reportados resultan satisfactorios.

A continuación se describirán las pruebas alternativas aplicadas a los adhesivos epóxicos en estudio, recuerdese que éstas se llevaron a cabo con el objeto de demostrar que existen otras vías para determinar las propiedades fisicoquímicas de los compuestos epoxi.

#### TIEMPO DE SECADO.

Se colocó 1 gr. de cada adhesivo (epoxy normal, epoxy 5 min., devcon 5 min.) en un vidrio de reloj, se prosiguió a sumergir un alfiler, el cual cada minuto se retiraba e introducía inmediatamente, se repitió 4 veces para cada material epóxico. El tiempo fue medido por un cronómetro, obteniéndose los siguientes resultados.

ADHESIVO	T. DE SECADO EXP.	T. DE SECADO TEORICO
EPOXY NORMAL:	240 minutos	240 minutos
EPOXY 5 MIN.:	5 minutos	5 minutos
DEVCON 5 MIN:	7 minutos	5 minutos

Comparando los resultados experimentales con los teóricos nos damos cuenta que son diferentes para el caso de los adhesivos curados a base de mercaptanos o polisulfuros, esto posiblemente se deba a las condiciones de experimentación, las cuales no fueron.

las ideales o a algún error de tipo humano, pero a pesar de la diferencia podemos determinar un rango de tiempos de secado real.

Se practico la prueba de esta forma con el fin de conocer el tiempo real de secado de estos adhesivos tipo epóxico.

Este metodo de prueba alternativo puede en un momento dado sustituirse por el de tiempo de gelificación, propuesto por la ASTM D 2471-71, con la unica diferencia que en este caso utilizamos un cronómetro convencional y en el recomendado por la literatura se emplea un cronometrador automático. No obstante los resultados obtenidos son cercanos a los reportados por el fabricante.

#### ESTABILIDAD TERMICA.

De cada adhesivo (epoxy normal, epoxy 5 min.) fueron colocados 1 gr. de resina y 1 gr. de endurecedor, en un portaobjeto respectivamente, se introdujeron a una estufa a 50°C durante 3 horas, despues se enfriaron a temperatura ambiente, se mezclo cada sistema y se determino el tiempo de secado. Obteniendose los resultados siguientes.



ADHESIVO	T. SECADO EXPERIMENTAL	% REDUCCION
EPOXY NORMAL:	130 minutos	48 %
EPOXY 5 MIN.:	4 minutos	34.4 %

Los porcentajes de reducción en el tiempo de secado se obtuvieron con respecto a los determinados experimentalmente, ya que si utilizamos los teóricos habra distorsión en los resultados.

La reducción en el tiempo de secado es diferente, lo cual se debe al agente curante utilizado para cada caso.

El principal objetivo de esta prueba es el de comprobar si existe alguna alteración en los componentes del sistema epóxico, al aplicar temperatura, pero no se observó ningún cambio con respecto a sus propiedades como son color, olor, apariencia física, etc.. sin embargo, la alteración sufrida por el sistema es provechosa, ya que una reducción en el tiempo de secado, es un momento dado una forma de optimización en las líneas de producción.

Se han desarrollado un gran número de pruebas para comprobar la calidad, propiedades fisicoquímicas de los adhesivos, y las características de la junta adhesiva. Las propiedades mecánicas de los materiales se han medido durante muchos años por pruebas de:

- Módulo de elongación
- Módulo de tensión.
- Módulo de compresión.
- Esfuerzos cortantes.

Pruebas similares se aplican para llevar a cabo esta evaluación como son:

- Tensión. ASTM D 638-61T
- Compresión. ASTM D 695-63T
- Flexión. ASTM D 790-63
- Impacto. ASTM D 256-56
- Determinación de la tem. de distorsión/temp. de deflexión. ASTM D 648-56
- Porcentaje de absorción. ASTM D 570-63T
- Determinación de la conductividad térmica. ASTM C 177
- Determinación de la expansión térmica. ASTM D 696
- Determinación de la constante dieléctrica. ASTM D 149-64
- Determinación de la resistividad volumétrica. ASTM D 257-61

A continuación se presentará una clasificación de los esfuerzos a los que son sometidos los adhesivos epóxicos, los cuales dependen del agente curante utilizado. Estos datos se encuentran reportados en la literatura. (ref. 47)

CLASIFICACION DE RESISTENCIA QUIMICA EN ADHESIVOS ESPECIFICOS (DEPENDIENDO DEL AGENTE DURANTE)

	HIDROCARBUROS										ALCALIS	SOLUCIONES	ACIDOS	ALCALIS	SOLUCIONES	ACIDOS	ALCALIS	SOLUCIONES	ACIDOS	
	CALOR	FRO	FRIO CALIENTE	AGUA FRIA	ALCOHOL	ALIF.	AROM.	CLORADOS	ACEITES MINERALES	TERPENOS										ESTERES
POLIAMINA	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
ANCLORADO	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
POLIAMINA	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
ALIF. ESTER	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
POLISULFONOS	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
POLISULFONOS	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
POLISULFONOS	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B

EXCELENTE  
BUENA  
MODERADA  
REGULAR  
PASA

## RESISTENCIA A LA TENSION. (ASTM D638-61T)

Es la fuerza por unidad de área requerida para romper un material. La muestra típica del plástico es de 1.5mm. de espesor por 12.5mm de ancho en la resistencia a la tensión. La elongación de la muestra es el incremento de la longitud después de la ruptura, respecto a la longitud inicial.

### RESISTENCIA A LA TENCION

AGENTE CURANTE	N/CM <sup>2</sup> x 10 <sup>-3</sup>
POLIAMIDAS	3 ———> 5
POLIAMINAS	4 ———> 6
POLIAMINAS AR.	4.5 ———> 6.5
CICLOALIFATICAS	6 ———> 7
POLISULFURICOS	3 ———> 3.5

### MODULO DE ELASTICIDAD. (ASTM D539-61T)

Es la relación del incremento del esfuerzo unitario al incremento de la deformación unitaria dentro del límite elástico.

El módulo de elasticidad a la tracción o tensión, se resalta de Young así:

$$E = \text{ESFUERZO UNITARIO/DEFORMACION UNITARIA} = PL/AE.$$

El módulo de elasticidad a la compresión se mide de igual manera.

#### RESISTENCIA A LA ELASTICIDAD

AGENTE DURANTE	N/CM <sup>2</sup> x 10 <sup>4</sup> (-5)
POLIAMIDAS	0 ----> 1
POLIAMINAS	1 ----> 3
POLIAMINAS AR.	1.4 ----> 3
CICLOALIFATICAS	-----
POLISULFURICAS	-----

**PORCENTAJE DE ELONGACION. (ASTM D638-61T.)**

Es la extension plastica de la muestra a la muestra roturada como el producto del cambio de longitud de medicion (original) x 100 dividido por la longitud de medicion original.

**PORCENTAJE DE ELONGACION**

AGENTE CURANTE	Z
POLIAMIDAS	1 ———> 4
POLIAMINAS	1 ———> 10
POLIAMINAS AR.	1 ———> 5
CICLOALIFATICAS	10 ———> 90
POLISULFURICOS	10 ———> 90

### RESISTENCIA A LA COMPRESION. (ASTM D695-63T).

Es la fuerza requerida para producir una distorsion en la parte de la muestra, despres. de aplicar una carga compresiva.

Usualmente las muestras son:

- Placas de 12.5mm de ancho y 25.4mm de espesor.
- Anillos cilindricos de 12.5mm de diametro y 25.4mm de espesor.

#### RESISTENCIA A LA COMPRESION

AGENTE CURANTE	M/CH2 x 10 <sup>3</sup>
POLIAMIDAS	4 → 12
POLIAMINAS	5 → 12
POLIAMINAS AR.	6 → 10
CICLOALIFATICAS	19 → 21
POLISULFURICAS	1 → 10

#### RESISTENCIA A LA FLEXION. (ASTM D790-63).

Es la fuerza en Newtons requerida para doblar una muestra, tal que la elongacion de la cara inferior forme un arco de 5'.

La muestra estandar es de:

- 177mm de largo. 12.5mm de ancho y 3.2mm de espesor.

La fuerza se aplica en el centro de la muestra.

#### RESISTENCIA A LA FLEXION

AGENTE DURANTE	N/CM <sup>2</sup> x 10 <sup>-3</sup>
POLIAMIDAS	4 ———> 9
POLIAMINAS	6 ———> 9
POLIAMINAS AR.	5 ———> 7
CICLOALIFATICAS	7 ———> 10
POLISULFURICOS	1 ———> 9



## RESISTENCIA AL IMPACTO. (ASTM D256-56).

**IMPACTO:** se considera a una fuerza o esfuerzo aplicados repentinamente cuando la duración de aplicación de la carga es menor que la mitad del periodo natural fundamental de vibración del sistema sobre el cual actúa la fuerza. Bajo el impacto se propaga una onda de compresión por todo el cuerpo sustrato por una velocidad  $c = \sqrt{E/\rho}$ .

$$c = \sqrt{E/\rho}$$

En donde, pues la densidad del material como esta onda de compresión viaja una y otra vez por flexión desde un extremo de la barra hasta el otro, se produce un esfuerzo máximo que es muchas veces mayor que el que se produciría estáticamente.

La resistencia al impacto, se calcula por la pérdida de energía de un péndulo después de la ruptura de el material. La muestra típicamente es de 50mm de largo por 12.5mm de ancho y 2.5mm de espesor. La ruptura por lo común se corta en los límites para localizar el impacto, así la ruptura ocurre a través de la muestra. Se obtienen resultados más satisfactorios con una muestra de 12.5mm de espesor que con una de 2.5mm.

### RESISTENCIA AL IMPACTO

AGENTE CURANTE	J/IN
POLIAMIDAS	0.3 → 0.8
POLIAMINAS	3.4 → 1.3
POLIAMINAS AR.	
CICLOALIFATICAS	
POLISULFURICOS	35 → 40

#### PORCENTAJE DE ABSORCION DE AGUA. (ASTM D570-63T)

Es el valor relativo de absorcion de agua de los materiales plasticos, el metodo para valorar este porcentaje tiene dos tipos de funciones:

La primera como una guía de la absorcion de agua absorbida por el material y consecuentemente, en otras cosas, donde la correlacion entre las propiedades mecánicas, eléctricas, dimensiones o espesura, y la humedad ha sido determinada; como guía de los efectos de absorcion en el agua o condiciones de humedad alta. Y segunda como prueba del control en la uniformidad del producto.

Se determina por la immersion de la muestra en agua a 23°C. durante 24 hrs. tiempo suficiente para alcanzar el equilibrio, con esto, se pesa para el peso de la misma sujeta en una pequeña fracción lo cual representa un porcentaje ganado sobre el peso inicial de la muestra, nominado por porcentaje de absorcion.

#### PORCENTAJE DE ABSORCION DE AGUA

AGENTE DURANTE	% EN 24 H.
POLIAMIDAS	0.5
POLIAMINAS	0.25
POLIAMINAS AR.	0.25
CICLOALIFATICAS	0.7
POLISULFURICAS	0.5 —> 1.5

### RESISTENCIA AL CALENTAMIENTO.

La temperatura de resistencia al calentamiento es la temperatura máxima a la cual el material puede ser expuesto sin pérdida significativa de sus propiedades o características de servicio (es decir, el calentamiento extremo puede causar fusión o degradación excesiva del material, efectos contrarios a lo deseado).

La tabla presenta la temperatura límite de servicio a la cual pueden ser empleados los adhesivos sin ningún problema.

#### RESISTENCIA A LA TEMPERATURA CALORIFICA CONTINUA

	°C.	
POLIAMIDAS	-50	→ 85
POLIAMINAS	-20	→ 85
POLIAMINAS AR.	-50	→ 100
CICLOALIFATICAS		
POLISULFURICOS	-50	→ 95

**TEMPERATURA DE DISTORSION O DEFLECCION. (ASTM D548-56).**

Se determina con una muestra del material de 127mm de longitud por 12.7mm de ancho, con espesor de 3.2mm a 12.7mm, se coloca la muestra en dos apoyos separados por 10mm y se aplica en una carga de 182 N/cm<sup>2</sup> en el centro. La temperatura de la muestra se incrementa gradualmente hasta el centro de la deflexion (la deflexion es de 0.25mm), esta es la temperatura de deflección.

**TEMPERATURA DE DISPERSION  
(P=45.5 N/CM<sup>2</sup>)**

AGENTE CURANTE	°C.
POLIAMIDAS	_____
POLIAMINAS	42 ———> 120
POLIAMINAS AK.	55 ———> 125
CICLOALIFATICAS	_____
POLISULFURICOS	_____

TEMPERATURA DE DISTORSION  
(P=162 N/CM2)

AGENTE DEFORMANTE	°C.
POLIAMIDAS	95 —> 97
POLIAMINAS	100 —> 120
POLIAMINAS AR.	95 —> 115
CICLOALIFATICAS	250 —> 300
POLISULFURICOS	

### CONDUCTIVIDAD TERMICA.

La ley de Fourier basica para la conduccion de un material isotropico es:  $Q = -KAT$ . esto establece que la relacion en un regimen permanente de calor de conduccion  $Q$  es proporcional al area seccional normal a la direccion del flujo y al gradiente de temperatura a lo largo de la trayectoria de conduccion. La constante de proporcionalidad  $K$  se conoce como conductividad termica verdadera del material.

Usualmente se mide por el metodo disco de Lee, con muestras de 0.5-3.0mm de espesor. esta es la cantidad de calor en Joules que pasan atravez de las caras opuestas de un metro cubico cuando la diferencia de temperatura entre ellas es de 1°C.

#### CONDUCTIVIDAD TERMICA

AGENTE DURANTE	1/M29°C x10 <sup>4</sup> (-1)
POLIAMIDAS	13 ----> 20
POLIAMINAS	9 ----> 24
POLIAMINAS AR.	13 ----> 25
CICLOALIFATICAS	27 ----> 40
POLISULFURICOS	-----

### EXPANSION TERMICA.

Usualmente se conduce como el incremento en la longitud de una muestra, dividido entre la longitud original, por cada grado Celsius aumentado en la temperatura.

#### COEFICIENTE DE EXPANSION LINEAL

AGENTE CURANTE	$\Delta l/L \times 10^4 (-5)^{\circ}C$
POLIAMIDAS	8 $\longrightarrow$ 9
POLIAMINAS	7.5 $\longrightarrow$ 10
POLIAMINAS AR.	10 $\longrightarrow$ 12
CICLOALIFATICAS	2 $\longrightarrow$ 6
POLISULFURICOS	2 $\longrightarrow$ 10

CONSTANTE DIELECTRICA. (ASTM D100-64T).

SE DETERMINA APLICANDO ELECTRODOS DE AREAS CONOCIDAS A UNO Y OTRO LADO DEL MATERIAL Y SE MIDE LA CAPACITANCIA Y CONDUCTANCIA CON UN FUENTE DE C.A. LAS DIMENSIONES DE LOS ELECTRODOS, EL ESPESOR Y UNIFORMIDAD SON IMPORTANTES. SE DOLOCA POR LA SIGUIENTE FORMULA:  $C = \epsilon AE / T$

DONDE: C = CAPACITANCIA  
A = AREA DE ELECTRODOS  
E = CONSTANTE ELECTRICIA.  
T = ESPESOR DEL MATERIAL.

CONSTANTE DIELECTRICA (60 HZ.)

AGENTE DURANTE	DE.
POLIAMIDAS	3.5 → 4.2
POLIAMINAS	4 → 5.5
POLIAMINAS AR.	5 → 7
CICLOALIFATICAS	3 → 3.6
POLISULFURICAS	3.5 → 6.0



**CONSTANTE DIELECTRICA (1 MHZ.)**

<b>AGENTE CURANTE</b>	<b>CTE.</b>
POLIAMIDAS	3 —> 3.5
POLIAMINAS	3 —> 4
POLIAMINAS AR.	3 —> 6.2
CICLOALIFATICAS	3 —> 3.3
POLISULFURICOS	

**FACTOR DE POTENCIA. (ASTM D150-64T).**

**Definición:**

Es la razón en tiempo para la transferencia o transformación de la energía.

El factor de potencia (FP), es la razón entre la potencia y la potencia aparente y se calcula por la siguiente ecuación:

$$Fp = P/EI = \cos \phi$$

En donde  $\phi$  es la diferencia entre los ángulos de las fases o de pasaje entre E e I, suponiendo que ambas son senoidales.

**FACTOR DE POTENCIA [ $\times 10^{(-3)}$ ] A 60 HZ.**

AGENTE DURANTE	F.P.
POLIAMIDAS	15 $\rightarrow$ 80
POLIAMINAS	15 $\rightarrow$ 100
POLIAMINAS AL.	10 $\rightarrow$ 40
CICLOALIFATICAS	2 $\rightarrow$ 8
POLISULFURICOS	10 $\rightarrow$ 40

FACTOR DE POTENCIA [x10<sup>4</sup>(-1) A 1 MHZ.]

AGENTE CURANTE	F.P.
POLIAMIDAS	30 —> 60
POLIAMINAS	30 —> 100
POLIAMINAS AR.	30 —> 60
CICLOALIFATICAS	1 —> 2
POLISULFURICOS	20 —> 80

FUERZA DIELECTRICA. (ASTM D149-64).

Es el voltaje expresado en KV/CM requerido para pasar una corriente grande (mayor a 0.1 A) a través de una area unitaria de espesor.

FUERZA DIELECTRICA

AGENTE DURANTE	KV/CM.
POLIAMIDAS	150 → 200
POLIAMINAS	140 → 200
POLIAMINAS AR.	180 → 200
CICLOALIFATICAS	42 → 62
PGLISULFURICOS	

### RESISTIVIDAD VOLUMETRICA.

Es usualmente medida por electrodos colocados en ambos lados del espesor en la muestra. Es la relación entre el voltaje aplicado y la corriente que está pasando en valores correctos para la separación y área arbitrarias de los electrodos.

#### RESISTIVIDAD VOLUMETRICA (DE ACUERDO AL AGENTE CURANTE)

	°C.
POLIAMIDAS	-50 → 85
POLIAMINAS	-50 → 95
POLIAMINAS AR.	-50 → 100
CICLOALIFATICAS	
POLISULFURICAS	-50 → 95

Las resinas epoxicas tienen aproximadamente 30 años de ser usados industrialmente. Sin embargo, han alcanzado un nivel alto con respecto a investigación, desarrollo y aplicaciones. No obstante, se sabe que en años pasados no existía gran información acerca de ellas.

Hoy en día contamos con una gran variedad de resinas epoxi, agentes curantes, modificadores, etc., los cuales son utilizados dependiendo de las necesidades o características solicitadas por la junta y por el propio usuario.

Han tenido gran auge en la industria automotriz, debido a las propiedades que poseen y éstas corresponden a su estructura macromolecular. Estos avances se deben principalmente a las técnicas aplicadas para su análisis las cuales son:

- Cromatografía.
- Microscopía.
- Espectroscopía.
- Análisis termico.

Además, han sido reportados avances respecto al comportamiento mecánico de los adhesivos epoxi. Con lo anterior, no dudamos que en un futuro cercano existan avances tecnológicos en la industria adhesiva, con el fin de ampliar su campo de investigación, desarrollo y aplicación.

## CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

Después de realizar este estudio se puede concluir que, un adhesivo es capaz de mantener unidos entre sí a los materiales simplemente por contacto de las superficies. La capacidad de mojado ayudará al adhesivo a extenderse sobre la superficie del adherente, siendo favorecido por una viscosidad y tensión superficial bajas en el adhesivo.

Una vez que el adhesivo ha mojado completamente al sustrato, el fenómeno de adhesividad comienza a llevarse a cabo. Si éstos se aplican al sustrato en forma líquida, generalmente, deben ser curados, y esto consiste en la transición del adhesivo líquido a un sólido duro, con una fuerza de cohesión alta.

Durante la formación de la junta adhesiva, o después de ella, existe una serie de factores que modifican a la misma, alterando su resistencia óptima, así como sus propiedades fisicoquímica.

Dentro de la gran gama de los adhesivos termoestables encontramos a los epóxicos, los cuales poseen las siguientes características:

- Excelente adhesión.
- Excelente dureza.
- Excelente resistencia química.
- Excelentes propiedades eléctricas.
- Excelente resistencia a la abrasión.



De acuerdo a las pruebas realizadas se puede concluir que los resultados son satisfactorios; se comprueba que de acuerdo al agente curante utilizado, serán las propiedades del adhesivo como es el tiempo de secado; lo anterior se fue determinado con la prueba aplicada a los materiales en estudio de tiempo de secado, en donde se utilizó un adhesivo curado con poliamidas (EPOXY NORMAL) y otros con polisulfuros/aminas (EPOXY 5 MIN., DEVCON 5 MIN.), comprobándose con ello que el tiempo de secado depende del agente curante utilizado.

No obstante, que los adhesivos epóxicos son curados con agentes diferentes, reportan la misma penetración como se determinó en la prueba aplicada a nuestras muestras, de lo cual se concluye que esta propiedad es específica de éstos compuestos.

Por otro lado, se determinó que no son afectados por los cambios de temperatura en sus propiedades fisicoquímicas, es decir no sufren alteración alguna, excepto en la disminución del tiempo de secado, lo cual resulta conveniente para optimizar la producción en las líneas de ensamble; esta reducción posiblemente ocurre por la evaporación de material volátil, el cual es despreciable como se determinó en la prueba de contenido en sólidos realizada.

Finalmente, concluyo que los adhesivos epóxicos poseen

muchas ventajas y por lo tanto su campo de aplicación es muy amplio. También observé que no son contaminantes del medio ambiente, lo cual es muy importante en la actualidad, y sobre todo se logró comprobar que es posible determinar las propiedades fisicoquímicas por otras rutas o realizando pruebas alternativas como las he nombrado, obteniendo resultados cercanos a los teóricos. Se recomienda que se busquen otras vías para determinar dichas propiedades, no solamente de adhesivos, sino también de otros materiales, ayudando con ello al crecimiento y desarrollo de nuestro país para evitar la dependencia tecnológica extranjera.

## APENDICE

## A P E N D I C E

A nivel mundial podemos encontrar diferentes compañías fabricantes de resinas epóxicas en base de Bisfenol A como son:

Shell	Epon
Ciba	Araldite
Hi-Tek	Epi-Rez
Dow	Der
Reichhold	Epotuf

A diferencia de otros adhesivos, los epóxicos tienen ventajas superiores como:

- Excelente adhesión.
- Excelente dureza.
- Excelente resistencia a la abrasión.
- Excelentes propiedades eléctricas.
- Excelente resistencia química.

De acuerdo a las necesidades de la junta, así como de su aplicación o uso se seleccionará el tipo de agente curante a utilizar, es por este motivo que a continuación se darán a conocer algunos de los agentes de curado más conocidos en la industria de los adhesivos.

La línea de endurecedores tipo mercaptano para sistemas

epóxicos ofrece una amplia gama de ventajas para el formulador. Los mercaptanos Capcure son conocidos por sus propiedades de curar rápidamente sistemas epoxi a bajas temperaturas, debido a que la reacción epoxi-mercaptano catalizada con amina terciaria a diferencia de la reacción de epóxicos con aminas, amidas, anhídridos ácidos, ácidos de Lewis o bases, no depende ni de la masa ni de la temperatura. Los endurecedores del tipo mercaptano usualmente requieren una fuente de calor para curar adecuadamente.

Un endurecedor a base de amina primaria, con un tiempo de gelado de 5 min. a 25°C tarda hasta 3 horas para curar a temperaturas menores de 10°C, debido a que la velocidad de curado se vuelve tan lenta que puede no llegar a curar a menos que se le caliente.

Un sistema a base de mercaptano con un tiempo de gelado de 5 min. a 25°C cura hasta un 90%-95% después de una hora. A temperatura de -10°C, este sistema llega al mismo porcentaje de curado después de 2 horas. Dentro de la línea de Capcure se ofrecen endurecedores con tiempos de gel desde 40 segundos hasta 35 minutos (en 20 grs.), que ofrecen velocidades de curado igualmente rápidas.

Además de ser usados como endurecedores primarios, los mercaptanos Capcure se pueden emplear como aceleradores y agentes de co-curado junto con otros endurecedores epóxicos. Cuando son agregados a un sistema epóxico-poliamida, reducen el tiempo de inducción

requerido por la poliamida para hacerse compatible con la resina epoxi y promover un tiempo de gelado y curado rápido.

Una pequeña cantidad de Capcure agregado a un sistema epóxico-anhídrido acelera la velocidad de curado y disminuye la temperatura requerida para obtener un curado total. Se obtiene un efecto similar en sistemas epóxicos curados con aminas aromáticas. Otra propiedad muy importante del Capcure es su baja toxicidad.

#### CAPCURE 3-800

Es un polimero líquido trifuncional que imparte un curado rápido a resinas epóxicas catalizadas con determinadas aminas.

CAPCURE 3-800 se ofrece sin catalizador. Esto permite al formulador la elección de tiempos de gelado y de velocidades de curado dependientes del tipo y calidad de catalizador empleado. El uso de una amina terciaria, como el CAPCURE Eh-30, usada junto con el CAPCURE 3-800 permite obtener tiempos de gel de 5 minutos.

#### PROPIEDADES TÍPICAS:

Color, Gardner	1
Densidad, a 25°C	1.5
Tiempo de gel a 25°C	variable
Peso equiv. H reactivo	270
Viscosidad, cps a 25°C	10 000-15 000

#### APLICACIONES:

- Adhesivos domésticos. (sistema de 2 componentes)
- Adhesivos industriales.
- Aceleración de otros sistemas epóxicos.

#### SERIE CAPCURE WR.

Esta serie consiste de 2 productos: CAPCURE WR-6 Y CAPCURE WR-35. Se trata de endurecedores precatalizados del mismo tipo que funcionan excelentemente hasta temperaturas de 0°C. Ambos tienen tiempos de gelado intermedios.

La velocidad de curado de la serie CAPCURE WR es extremadamente rápida. A 25°C se obtiene de 85% a 90% de curado 20 minutos después del tiempo de gelado. Cuando estos productos se emplean como agente de curado únicamente, se recomienda emplear niveles entre 70 y 82 phr. Esto representa a un 80% de la estequiometría, por lo tanto 80% de los grupos epóxicos reaccionan con los grupos de mercaptano y los restantes se polimerizan gracias a la amina terciaria presente.

Estos productos se pueden usar para curar cualquier tipo de resina epóxica. Pero debido a su funcionalidad (mercaptano), se debe emplear una resina con funcionalidad epóxica de 2.5 mínimo para obtener las propiedades de curado óptimas.

PROPIEDADES TÍPICAS:

	WR-6	WR-35
Color, Gardner	3	3
Peso equiv. H reactivo	174	181
Densidad a 25°C, gr/cc	1.06	1.06
Viscosidad a 25°C, cps.	400	400

APLICACIONES:

- Adhesivos para señales reflejantes de tráfico.
- Adhesivos industriales.
- Reparación de concreto, superficies húmedas o bajo agua.
- Reducir o aumentar tiempos de inducción.

CAPCURE 1.5 HV Y CAPCURE 40 Sec. HV

Estos productos son endurecedores base emcaptano, precatalizados para sistemas epóxicos. Cuando se emplean en una relación de 1:1 con resina epoxi, resultan tiempos de gel a 25°C, de 1.5 minutos y 40 segundos, respectivamente (en 20 grs.). Ambos productos son extremadamente reactivos, dan excelente adhesión al vidrio y a los metales, especialmente al cobre y a sus aleaciones (latón y bronce). Pueden también ser usados como aceleradores y promotores de adhesión en sistemas epoxi/poliamida.



PROPIEDADES TIPICAS:

Color	amarillo claro
Viscosidad a 25°C	10 000 cps.
Peso equiv. H reactivo	224

AMINAS.

CAPCURE AF. (AMINA AROMATICA)

EL CAPCURE AF es una amina aromática que no contiene etilen dianilina y no amancha. Ofrece excelentes propiedades físicas y eléctricas, además de una resistencia a la temperatura y ataque químico, sin el potencial de toxicidad asociado con la metilen dianilina.

Puede ser usado como agente de co-curado con otros endurecedores epóxicos, para mejorar la resistencia química y al calor. Mezclas de CAPCURE AF con poliaminas alifáticas o cicloalifáticas gelan a temperatura ambiente. Al formular con una resina epoxi no modificada usando 22phr de CAPCURE AF y curar, primeramente, 2 horas a 80°C y luego 3 horas a 150°C, se obtiene una resistencia al calor de hasta 160°C.

PROPIEDADES TIPICAS:

Apariencia	liquido transparente.
Peso equiv. H reactivo	42

Densidad a 25°C	1.04 gr./cc
Viscosidad a 25°C	180 cps.

**APLICACIONES:**

- Estructuras de alta resistencia.
- Adhesivos para alta temperatura.
- Recubrimientos resistentes a la corrosión.
- Encapsulados eléctricos.

**CAPCURE EH-30. (AMINA TERCIARIA)**

Se trata de un acelerador. Químicamente es el 2,4,6, tri(dimetilaminometil)fenol. Puede ser usado para curar resinas epóxicas por homopolimerización de los grupos epóxicos. Como acelerador, se emplea para acelerar el curado de reacciones epoxi/anhidrido, epoxi/poliamida y epoxi/polisulfuro. Como catalizador junto con CAPCURE 3-800 en la reacción epoxi/mercaptano, se llegan a obtener tiempos de gel de hasta 4 minutos.

**PROPIEDADES TÍPICAS:**

Número de amina	600
Color, Gardner	8
Densidad a 25°C, gr./cc	0.97
Viscosidad a 25°C, cps	175-210

#### APLICACIONES:

- Adhesivos industriales.
- Pisos epóxicos.
- Reparación y junteo de concreto.
- Productos eléctricos.
- Recubrimientos.
- Laminados.
- Adhesivos epóxicos con velocidades de curado rápidas.

#### CAPCURE 65 Y CAPCURE 37 S. (EMULSIFICANTES)

Estos productos son emulsificantes para resinas epóxicas, ambos están basados en el mismo ingrediente activo, en etoxilado no iónico con un Hib de aproximadamente 18. El CAPCURE 37 S. es 100% activo mientras que el CAPCURE 65 es una solución acuosa a 65%.

Mediante el uso de estos emulsificantes, de un antiespumante como el FOAMASTER NS-1 y de un coloide protector, se obtienen emulsiones estables. Los niveles de uso de éstos emulsificantes son del rango del 3 al 5 %, en base al peso de resina epóxica.

#### PROPIEDADES TÍPICAS:

	65	37 S
Apariencia	liq. claro	sólido pastoso
Ingrediente activo,%	65	100

Densidad a 25°C, gr/cc	1.08	---
Punto de fusión, °C	---	50
Viscosidad a 25°C, cps	15 000	---

HZ 340

No contiene solventes orgánicos, su contenido de sólidos puede ser reducido hasta 20% por dilución con agua, resultando una emulsión bastante estable, además puede ser pigmentado sin perder sus propiedades, ni afectarlas, las cuales están en relación con la razón de proporción utilizadas.

Este puede actuar como emulsificante o agente curante.

PROPIEDADES TÍPICAS:

Viscosidad a 25°C, mPas	13 000 a 23 000
Color, Gardner	menos de 14
Densidad a 25°C, gr/cc	155-170
Contenido de sólidos	50%
Solvente	agua

APLICACIONES:

- Recubrimientos.
- Adhesivos industriales.
- Concreto.

Esta serie de agentes curantes, en realidad es lo más representativo de la gran variedad existente de ellos, ya que como se menciona con anterioridad, la selección de este compuesto depende de las necesidades y características que se desee el usuario, así como el empleo de cargas, emulsificantes, diluyentes, etc.

Como comentario final, las investigaciones más recientes que han sido publicadas en las diferentes revistas científicas, se han dado a conocer los resultados de diferentes experimentos y desarrollos, realizados por algunos investigadores dedicados a las resinas epóxicas, así como a los adhesivos, con el objetivo de mejorar las condiciones de curado, características y aplicaciones de los mismos. (ref. 46)

## B I B L I O G R A F I A

- 1.- Lee, h. and Neville, K. Epoxy Resins, N.Y. Mc-Graw Hill Book Co. 1975.
- 2.- Eley, D.D; Adhesion. Oxfor University Press, Fair Law.N.J. 1961.
- 3.- Philp Weis. Proceedings of Symposium on Adhesion and Cohesion, General Motors Research Lab. Warren, Mich., 1961.
- 4.- De Lollis, N.J.; Structural Metal Bonding Corp. N.Y., in Handbook of Adhesives. Reinhold Publishig Corp.,1962.
- 5.- Schonbom, H. and L.H. Charpe; Surfaces Energetics., Adhesion and adhesives Joints II, Polimer Letters, vol. 2. 1964.
- 6.- L.H. Sharpe, H schonhom and Ch.J. Lynch. Adhesives InterSci Technol. 1964.
- 7.- Voyutskii S.S., and V.L. Valuka; The Role of Difusion Phenomena in Polymer to Polymer Adhesion, J. Apli Polymer Sci., Vol 7. 1963.

8. - De Braye, N.A. and Houwink, H.: Adhesion and Adhesives  
Lodon, Elsevier Publishing Co. 1961.

9. - Formulating Dow Epoxy Resins. Midland. Mich. The Dow Chemical  
Company.

10. - Lee, H., and Neville, K.; Handbook of Epoxy Resins. New York,  
Mc Graw Hill Book Co. 1967.

11. - Flick, E.W. ; Adhesive and Sealant Compound Formulations.,  
Park Ridge, N.J. Noyes Publications, 1984.

12. - Bruins, P.F.; Epoxy Resins Technology. New York, Interscience  
Pub. 1968.

13. - Torrey, S.; Adhesive Technology Developments Science. N.J.  
Noyes pub. 1980.

14. - Wake, W.C.; Developments in Adhesives. London, Applied  
Science Pub. 1980.

15. - Duestek, N.; Robotics and Adhesives; Adhesives Age, April  
1983.

16. - Buckley, J.D; Equipment and Techniques in Rapid Bonding of Composites. Nasa Langley Research Center, April.1984.
17. - New I Part Epoxy Adhesive Join Auto Parts Swiftly. Metalworking News, April. 1987.
18. - Allan R. Meath. Dow Chemical USA. Freeport, Texas.
19. - William C. Wake.; Developments in Adhesives I. Applied Science Pub. Ltd. London.
20. - Nitto Electrical Industrial Co. Ltd. JA 75 112 433. Prioty JA 16.2.74.
21. - Schaab, C.K., Hilbelink, R.D. Davis, T.R. and Hanny, J.E. SAMPE, 2nd Nat. Tech. Conf. Proc., 2, 1970. p 895.
22. - Bank. M. Bayless, R. Bothman R. and Shank, P. Amer. Chem. Soc. Polym. Preprints, 13(2), 1972. p 1280.
23. - Interchemical Corporation. US 3 391 095, Priority US 20.9.65.
24. - Dunlop Co. Ltd. GB 1 158 682. Priority GB 1.2.66.
25. - Minnesota Mining and Mfg.Co.US 3 746 069. Priority US 15.5.67



26. - Dunlop Holdings Ltd. GB 1 253 843. Priority GB 9.3.68
27. - Bell, J.P. Reffner, J.A. and Petrie, S. J. Appl. Poly. Sci. 21.1977. p 1095.
28. - Shell internat. Res. Mij. D.T. 1 951 600 Priority US 14.10.68
29. - Drisko, R.W. Paint Varn. Prod. 58(7). 1968. p 31.
30. - Mitsubishi Petrochemical Co. JA 75 43200. Priority JA 22.8.73
31. - US Secretary of the Navy. US 3 891 583. Priority US 25.2.74
32. - US Secretary of the Navy. US 3 711 514. Priority US 12.2.70
33. - Butt, R.I. and Cotter, J.L. J Adhesion. 8.1976. p 11.
34. - Althof, W. and Brokmann, W. SAMPE 21 st. Nat. Symp. 1976. p 381.
35. - Mika T.F. SAMPE. 5th Nat. Tech. Conf. 1973. p 394.
36. - Shen, H.K. and Rutherford, J.L. Mat. Sci. Eng. 9(6). 1972. p 323.
37. - Mostovoy, S. and Riplig E.J. Polym. Sci. Tech. (Adhesion Science and Technology), 9. 1975. p 513.

38. - Bethune, A.W. SAMPE J. 11(3). 1975. p 4.
39. - Marceau, J.A. Mon. Y. and Mc. Millan J.C. SAMPE, 21st. Nat. Symp. 1976, p 332.
40. - Manual de Protección Industrial. Cia. Mexicana de Pinturas Internacional.
41. - Cagle, Charles V.; Handbook of Adhesive Bonding. Mc Graw Hill Book Co. N.Y. 1973.
42. - Irving Skeist,; Manual de Adhesivos., 1966. C.E.C.S.A.
43. - American Society for Testing and Materials. (ASTM D) 1985.
44. - Epoxi Resins Formulations. (ERF) 1982.
45. - Boletín NOPCO-HENKEL.
46. - Journal of Coatings Technology. February 1990.
47. - Skeist Ph.D. Handbook of Adhesives. N.Y. Mc Graw Hill.Co. 1985.
48. - Boletín Técnico. Zap Marvil de México.

49. - Boletín Técnico. Devcon Mexicana.

50. - Marks. Manual del Ingeniero Mecánico. Mc Graw Hill. 1969.

51. -MM-A-103 B.