

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

ANÁLISIS DE UNIONES POR ADHESIÓN PARA MATERIALES METÁLICOS

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA

DIANA DEL PILAR ANAGUANO ANAGUANO

diannypilly@gmail.com

CARLOS MAURICIO LOACHAMIN SUQUILLO

jrmaury@gmail.com

DIRECTOR: ING. HOMERO BARRAGÁN

Barragán@hotmail.com

QUITO, MARZO 2008

DECLARACIÓN

Nosotros, Diana del Pilar Anaguano Anaguano y Carlos Mauricio Loachamin Suquillo, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad, intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Diana del Pilar Anaguano Anaguano

Carlos Mauricio Loachamin Suquillo

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la Srta. Diana del Pilar Anaguano Anaguano y el Sr. Carlos Mauricio Loachamin Suquillo, bajo mi supervisión.

Ing. Homero Barragán
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Primero que todo agradezco a Dios por haberme dado la sabiduría y la salud para llegar hasta donde estoy, a mis padres Rosa Y Efrén, a mi hermana Evelin por haber sido mi apoyo y porque con amor supieron guiarme, a Milton quien me brindo su apoyo incondicional, a mis Maestros y compañeros en especial a mi compañero y amigo Carlos y al Ing. Homero por compartir conmigo su amistad y sabiduría.

Diana

AGRADECIMIENTO

Un especial agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la consecución del presente trabajo: a mis padres Carlos y Martha, a mis Maestros y compañeros de la Escuela Politécnica Nacional, por el apoyo que me brindaron para poder alcanzar esta anhelada meta.

Mauricio

DEDICATORIA

El presente trabajo esta dedicado a:

Mi familia en especial a mis padres por haber sabido guiarme, por su sacrificio, por su amor incondicional, por su dedicación.

A mi hermana Evelin por apoyarme.

A una de las personas más especiales, mi novio Milton por haber sabido apoyarme, ayudarme y entenderme en todo momento.

Diana

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a:

Mis padres por su sacrificio, su amor y su dedicación.

Mis hermanos: Gabriela y Darío.

A una persona que estuvo siempre a mi lado y me dio
su apoyo incondicional (09/03/2007): M. A. M. M.

Mis abuelitos.

Mauricio

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
RESUMEN.....	2
CAPITULO I	
LOS ADHESIVOS EN LA INDUSTRIA	
1.1 EVOLUCIÓN DE LOS ADHESIVOS.....	4
1.2 CONCEPTOS BÁSICOS DE LA ADHESIÓN.....	6
1.3 COMPOSICIÓN DE LOS ADHESIVOS.....	7
1.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS ADHESIVOS.....	9
1.5 APLICACIONES.....	12
1.6 ADHESIÓN Y COHESIÓN.....	15
1.6.1 TEORÍA DE LA ADHESIÓN.....	17
1.6.1.1 MODELO MECÁNICO.....	18
1.6.1.2 MODELO ELÉCTRICO.....	20
1.6.1.3 MODELO DE LA DIFUSIÓN.....	21
1.6.1.4 MODELO DE LA ADSORCIÓN TERMODINÁMICA O MOJADO SUPERFICIAL.....	21
1.6.1.5 MODELO DE LAS CAPAS DÉBILES DE ROTURA PREFERENTE.....	22
1.6.1.6 MODELO DEL ENLACE QUÍMICO.....	24
1.6.1.7 MODELO ÁCIDO-BASE.....	24
1.6.2 MODOS DE FALLO.....	25
1.7 ACEROS AL CARBONO.....	29
CAPITULO II	
PREPARACIÓN PARA EL PROCESO DE ADHESION	
2.1 PREPARACIÓN DEL MATERIAL A ADHERIR.....	31
2.1.1 OBJETIVOS.....	32
2.1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.....	34
2.1.2.1 LA LIMPIEZA SUPERFICIAL.....	34

2.1.2.2	LIMPIEZA CON DISOLVENTES.....	35
2.1.2.2.1	EL DESENGRASADO EN FASE VAPOR.....	35
2.1.2.2.2	EL TRATAMIENTO EN BAÑO DE ULTRASONIDOS.....	35
2.1.2.2.3	EL FROTADO, LA INMERSIÓN Y EL SPRAY.....	36
2.1.2.3	LOS TRATAMIENTOS ABRASIVOS.....	37
2.1.2.4	LOS TRATAMIENTOS QUÍMICOS.....	39
2.1.2.5	LOS PRIMERS (IMPRIMANTES).....	40
2.1.2.6	LOS TRATAMIENTOS DE LLAMA.....	41
2.1.2.7	EL PLASMA DE BAJA PRESIÓN.....	42
2.1.2.8	LA DESCARGA EN CORONA.....	42

CAPITULO III

RESINAS EPOXICAS

3.1	CLASIFICACIÓN DE LOS ADHESIVOS.....	44
3.1.1	CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A SU FORMA DE APLICACIÓN.....	44
3.1.2	POR SU USO INDUSTRIAL.....	46
3.1.3	POR SU ORIGEN NATURAL O SINTÉTICO DE LOS MATERIALES BASE.....	47
3.1.4	POR EL MÉTODO DE CURADO.....	49
3.1.5	POR EL MECANISMO DE FORMACIÓN DE LA JUNTA ADHESIVA.....	49
3.2	LOS EPOXIS.....	52
3.2.1	GENERALIDADES.....	53
3.2.2	COMPOSICIÓN DE LOS EPOXIS.....	54
3.2.3	CLASIFICACIÓN DE LOS ADHESIVOS EPÓXICOS.....	55
3.2.4	PROPIEDADES DE LOS EPOXIS.....	60
3.2.4.1	PROPIEDADES DE LOS EPOXIS NORMALES.....	60
3.2.4.2	PROPIEDADES DE LOS EPOXIS TENACES.....	61
3.2.5	VENTAJAS DE LOS EPOXIS.....	61
3.2.6	DESVENTAJAS DE LOS EPOXIS.....	62
3.2.6.1	DESVENTAJAS DE LOS EPOXIS NORMALES.....	62
3.2.6.2	DESVENTAJAS DE LOS EPOXIS TENACES.....	63

3.2.7 APLICACIONES DE LOS EPOXIS.....	63
3.2.7.1 APLICACIONES DE LOS EPOXIS NORMALES.....	63
3.2.7.2 APLICACIONES DE LOS EPOXIS TENACES.....	66
3.2.7.3 APLICACIONES DE LOS EPOXIS FLEXIBLES DE UN COMPONENTE Y ALTA RESISTENCIA.....	66
3.2.7.4 APLICACIONES DE LOS EPOXIS SEMIRIGIDOS DE UN COMPONENTE Y ALTA RESISTENCIA.....	66
3.2.8 PEGAMENTOS EPÓXICOS EN LA INDUSTRIA ECUATORIANA.....	67
3.2.9 RIESGOS DE LAS RESINAS EPÓXICAS.....	73

CAPITULO IV

EL CURADO DE LAS RESINAS

4.1 MECANISMO DE CURADO DE LOS ADHESIVOS.....	75
4.1.1 ADHESIVOS CURADOS POR REACCIÓN ANAERÓBICA.....	75
4.1.2 ADHESIVOS CURADOS POR LUZ.....	77
4.1.2.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DEL CURADO POR LUZ.....	78
4.1.2.1.1 EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.....	78
4.1.2.1.2 TIPOS DE LUZ UV Y LUZ VISIBLE.....	79
4.1.2.1.3 LA POLIMERIZACIÓN PRODUCIDA POR LA LUZ.....	80
4.1.2.1.4 TIPOS DE SISTEMAS DE CURADO POR LUZ.....	80
4.1.2.1.4.1 SISTEMAS DE RADICALES LIBRES.....	80
4.1.2.1.4.2 SISTEMAS CATIONICOS.....	80
4.1.2.2 FACTORES A CONSIDERAR PARA EMPLEAR LAS TÉCNICAS DE CURADO POR LUZ.....	80
4.1.2.2.1 EMISIÓN DEL ESPECTRO DE LA LÁMPARA Y EL FOTOINICIADOR.....	81
4.1.2.2.2 INTENSIDAD DE LUZ SOBRE EL ADHESIVO.....	81
4.1.2.2.3 CARACTERÍSTICAS DE CURADO.....	81
4.1.2.2.3.1 PROFUNDIDAD DE CURADO.....	81
4.1.2.2.3.2 CURADO SUPERFICIAL.....	82
4.1.2.2.3.3 VELOCIDAD DE CURADO.....	82

4.1.2.3	CURADO POR LUZ ULTRAVIOLETA.....	82
4.1.3	ADHESIVOS CURADOS POR REACCIÓN ANIÓNICA.....	85
4.1.4	ADHESIVOS CURADOS MEDIANTE ACTIVADORES.....	86
4.1.5	ADHESIVOS CURADOS POR LA HUMEDAD AMBIENTAL.....	87
4.1.6	ADHESIVOS CURADOS POR CALOR.....	89
4.1.6.1	CURADO DE LOS EPOXIS.....	89
4.1.6.2	FACTORES A CONSIDERAR PARA EL CURADO DE LAS RESINAS EPÓXICAS.....	89

CAPITULO V

METODOLOGÍA DE APLICACIÓN Y PROPIEDADES DE LAS UNIONES

5.1	PROPIEDADES DE LOS ADHESIVOS ANTES DEL CURADO.....	93
5.1.1	FORMACIÓN DE LA UNIÓN ADHESIVA.....	93
5.1.1.1	REALIZACIÓN DE LA UNIÓN ADHESIVA.....	93
5.1.1.1.1	LIMPIEZA ADECUADA DE LOS ADHERENTES.....	93
5.1.1.1.2	SELECCIÓN DEL ADHESIVO.....	94
5.1.1.1.3	OBTENCIÓN DE UN BUEN CONTACTO INTERFACIAL.....	94
5.1.2	TENSIÓN Y ENERGÍA SUPERFICIAL: ÁNGULO DE CONTACTO.....	95
5.1.2.1	TENSIÓN Y ENERGÍA SUPERFICIAL.....	95
5.1.2.2	ÁNGULOS DE CONTACTO.....	96
5.1.2.2.1	DETERMINACIÓN DE ÁNGULO DE CONTACTO.....	97
5.1.2.2.2	TIPOS DE ÁNGULOS DE CONTACTO.....	98
5.1.2.2.2.1	ÁNGULOS DE CONTACTO TERMODINÁMICOS.....	98
5.1.2.2.2.2	ÁNGULOS DE CONTACTO ESTÁTICOS.....	98
5.1.2.2.2.3	ÁNGULOS DE CONTACTO DINÁMICOS.....	98

5.1.1.2	ÁNGULOS DE CONTACTO Y MOJABILIDAD.....	98
5.1.1.3	EFFECTO DE CAPILARIDAD.....	100
5.1.1.4	VISCOSIDAD.....	100
5.2	PROPIEDADES DE LAS UNIONES ADHESIVAS DESPUÉS DEL CURADO.....	101
5.2.1	PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ADHESIVOS.....	101
5.2.1.1	POLÍMEROS.....	101
5.2.2	UNIONES ADHESIVAS.....	101
5.2.2.1	ESFUERZOS EN LAS UNIONES ADHESIVAS.....	101
5.2.2.2	MECÁNICA DE LA FRACTURA.....	106
5.2.2.3	MODOS DE LA FALLO.....	106
5.2.2.4	REALIZACIÓN DE LA JUNTA ADHESIVA.....	107
5.2.2.5	TIPOS DE UNIONES ADHESIVAS.....	108
5.2.2.5.1	UNIONES A SOLAPE O TRASLAPADAS.....	109
5.2.2.5.2	UNIONES A TOPE.....	113
5.2.2.5.3	UNIONES EN T Y UNIONES EN ESQUINA.....	113
5.3	ENSAYO DE UNIONES ADHESIVAS.....	115
5.3.1	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA UNIONES ADHESIVAS...	115
5.3.1.1	DESCRIPCIÓN DE LOS DEFECTOS.....	116
5.3.1.2	APLICACIONES Y LIMITACIONES DE END EN LAS UNIONES ADHESIVAS.....	117
5.3.1.2.1	INSPECCIÓN VISUAL.....	117
5.3.1.2.2	INSPECCIÓN MEDIANTE ULTRASONIDOS.....	119
5.3.1.2.3	TEST DE LA MONEDA O DE GOLPECITOS.....	120
5.3.1.2.4	RADIOGRAFÍA DE RAYOS-X.....	120
5.3.1.2.5	EMISIÓN ACÚSTICA.....	120
5.3.1.2.6	MÉTODOS END ESPECIALES.....	121
5.3.2	ENSAYOS DESTRUCTIVOS PARA LA EVALUACIÓN DE LAS UNIONES ADHESIVAS.....	121
5.3.2.1	APLICACIONES Y LIMITACIONES DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS EN LAS UNIONES ADHESIVAS.....	121
5.3.2.1.1	TRACCIÓN.....	121

5.3.2.1.2 PELADO.....	122
5.3.2.1.3 IMPACTO.....	123
5.4 COMPORTAMIENTO DE LAS UNIONES ADHESIVAS EN SERVICIO Y EFECTOS QUE PUEDEN DISMINUIR LAS PROPIEDADES DE LAS UNIONES ADHESIVAS.....	124
5.4.1 EFECTO DE LA TEMPERATURA.....	126
5.4.1.1 EFECTOS INTERFACIALES.....	127
5.4.1.2 TRANSICIONES TÉRMICAS EN ADHESIVOS.....	128
5.4.1.3 DEGRADACIÓN TÉRMICA DE ADHESIVOS.....	128
5.4.1.3.1 DESPOLIMERIZACIÓN.....	128
5.4.1.3.2 DEGRADACIÓN OXIDATIVA.....	129
5.4.1.4 LÍMITE DE TEMPERATURA DE LOS ADHESIVOS.....	130
5.4.2 EFECTO DE LA HUMEDAD.....	131
5.4.3 TENSIÓN MECÁNICA.....	132
5.4.4 MEJORAS DE LA DURABILIDAD DE LA UNIÓN.....	133
5.4.4.1 INTERPOSICIÓN DE BARRERAS A LA DIFUSIÓN DE AGUA.....	133
5.4.4.2 INHIBICIÓN O RETARDO DE LA HIDRATACIÓN.....	133
5.4.4.3 APLICACIÓN DE LA IMPRIMACIÓN.....	133
5.4.5 EFECTOS COMBINADOS DE LA TEMPERATURA, LA HUMEDAD Y LAS TENSIONES MECÁNICAS.....	134
5.4.5.1 TEMPERATURA-HUMEDAD.....	134
5.4.5.2 HUMEDAD-TENSIÓN MECÁNICA.....	134

CAPITULO VI

CONTROL DE CALIDAD, SEGURIDAD E HIGIENE DE LOS ADHESIVOS

6.1 CONTROL DE CALIDAD.....	135
6.1.1 PRUEBAS.....	135
6.1.2 CONTROL DEL PROCESO Y CONTROL DE CALIDAD.....	136
6.2 SEGURIDAD E HIGIENE.....	137
6.2.1 SEGURIDAD DE LOS ADHESIVOS.....	137

6.2.1.1	RIESGO POTENCIAL Y PELIGROSIDAD REAL.....	137
6.2.1.2	RIESGOS HIGIÉNICOS.....	137
6.2.1.3	MEDIDAS PREVENTIVAS PARA LOS RIESGOS HIGIÉNICOS.....	138
6.2.1.4	RIESGOS ESPECÍFICOS.....	139
6.2.1.5	MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE LOS RIESGOS ESPECÍFICOS.....	140
6.2.1.6	LA REGULACIÓN SOBRE MATERIALES PELIGROSOS.....	142
6.3	HIGIENE PERSONAL.....	142
6.4	DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN.....	143
6.5	SEGURIDAD E HIGIENE DE LOS EQUIPOS EMPLEADOS EN LAS TÉCNICAS DE CURADO POR LUZ.....	143
6.5.1	EMISIÓN ULTRAVIOLETA.....	143
6.5.2	QUEMADURAS UV EN LA PIEL Y EN LOS OJOS.....	144
6.5.3	EQUIPO DE PROTECCIÓN.....	144
6.5.4	LÍMITES DE EXPOSICIÓN.....	144
CAPITULO VII		
ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS		
7.1	RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN, PELADO.....	146
CAPITULO VIII		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
8.1	CONCLUSIONES.....	172
8.2	RECOMENDACIONES.....	173
BIBLIOGRAFIA.....		175

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1.1 Esquema básico de una unión adhesiva.....	7
Figura 1.2: Distribución de la tensión en montajes soldados, remachados y unidos con adhesivos.....	9
Figura 1.3 Comparación entre una unión adhesiva y una unión remachada.	10
Fig.1.4 Observamos la presencia de corrosión galvánica (a) y con la presencia del adhesivo se evita la formación de una corrosión galvánica (b).....	11
Figura 1.5.a. Aplicación en carrocerías (a), aplicación para pegar diferentes materiales (b), combinación de adhesivos y soldadura en la industria automotriz (c).....	14
Figura 1.6. Aplicación en los chips.....	14
Figura 1.7 Aplicación de los adhesivos en la industria naviera.....	15
Figura 1.8 Fases de una unión adhesiva.....	16
Figura 1.9 Diferenciación entre adhesión y cohesión.....	17
Figura 1.10 Teorías de adhesión.....	18
Figura 1.11 Modelo de adhesión mecánica.....	18
Figura 1.12 Diferentes Topografías creadas en las superficies de sustratos mediante abrasión mecánica.....	20
Figura 1.13 Teoría eléctrica.....	20
Fig. 1.14 Teoría de la difusión.....	21
Figura 1.15 a) Tratamiento superficial en el sustrato demasiado agresivo b) Limpieza inadecuada de la superficie de los sustratos.....	23
Figura 1.16 Fallo por cohesión.....	26
Figura 1.17 Fallo por adhesión.....	26
Figura 1.18 Fallo mixto.....	27
Figura 2.1 La contaminación de las superficies de los sustratos reduce la adhesión.....	31

Figura 2.2 Diagrama que muestra la estructura de capas y la rugosidad que se puede esperar sobre la superficie de un metal sin preparar. La escala de la rugosidad superficial puede ser del orden de los micrones.....	33
Figura 2.3 Desengrasado con disolvente orgánico en fase vapor.....	35
Figura 2.4 Sistema de limpieza en baño de ultrasonidos.....	36
Figura 2.5 Limpieza de superficies mediante frotado.....	36
Figura 2.6 Limpieza con spray.....	37
Figura 2.7 Tratamiento abrasivo mediante chorro de arena.....	38
Figura 2.8 Tratamiento de llama.....	42
Figura 2.9 Tratamiento de descarga en corona.....	43
Figura 3.1. Clasificación de los adhesivos por el mecanismo de formación de la junta adhesiva.....	50
Figura 3.2 Proceso de unión con los epoxis.....	52
Figura 3.3 Distribución de la tensión en adheridos.....	62
Fig. 3.4 Aplicación de los adhesivos en la industria aeroespacial.....	64
Fig.3.5 Aplicación como sellante.....	64
Fig. 3.6 Colocación del adhesivo como sellante en la puerta del automóvil...	65
Fig. 3.7 Acabado final de una unión con adhesivo sobre aluminio.....	65
Fig. 4.1 a)El adhesivo permanece líquido dentro del envase y sobre la pieza no se produce el curado y b) Se cura con la ausencia del oxígeno y presencia de iones metálicos.....	75
Figura 4.2 Proceso de curado de los adhesivos por reacción anaeróbica.....	76
Figura 4.3 Espectro electro magnético. El diagrama ilustra los tipos de energías radiantes y longitudes de onda asociadas que componen el espectro electromagnético.....	79
Figura 4.4 Proceso de curado por luz UV.....	83
Figura 4.5 Curado en profundidad y Curado superficial.....	84
Figura 4.6 Proceso de curado por acción aniónica.....	85
Figura 4.7 Según cual sea el requisito de aplicación, puede elegirse el método a) o b). En cualquier caso, las partes A y B del adhesivo han de aplicarse de manera que se mezclen durante la unión.....	87

Figura 4.8 Al curarse, el epoxi mezclado pasa de un estado líquido a través de un estado gelatinoso a un estado sólido.....	91
Figura 5.1 Esquema de la relación entre energía superficial de sólido, líquido y vapor en equilibrio. Donde: S_{SL} = tensión superficial de la lámina sólido-líquido; S_{SV} = tensión superficial de la lámina sólido-vapor; S_{LV} = tensión superficial de la lámina líquido-vapor.....	95
Figura 5.2 Tensión y energía superficial.....	95
Figura 5.3 Representación del ángulo de contacto.....	96
Figura 5.4 Ángulos de mojabilidad.....	96
Figura 5.5. Tipos de mojado dependiente de la energía superficial.....	97
Figura 5.6 Ángulos de contacto y mojabilidad. Ausencia de relación entre “mojado superficial” y ángulo de contacto: (a) Mojado deficiente. (b) mojado parcial. (c) mojado total.....	99
Figura 5.7 Ángulos de contacto y mojabilidad. Mojado de una superficie rugosa: (a) ángulo de contacto intrínseco = 120° - mojado parcial en el equilibrio. (b) mojado completo en el equilibrio. (c) ángulo de contacto intrínseco = 105° - mojado parcial en estado metaestable. (d) mojado completo en el equilibrio.....	100
Figura 5.8 Esfuerzos de tracción y compresión.....	102
Figura 5.9 Esfuerzos de cortadura o cizalla.....	102
Figura 5.10 Esfuerzos de desgarro o hendimiento.....	103
Figura 5.11 Esfuerzos de pelado.....	103
Figura 5.12 Modificaciones de diseño que evitan o mejoran las cargas de pelado.....	104
Figura 5.13 Esquema de los tres modos de fractura: Modo I (desgarro); Modo II (cortadura); Modo III (arranque).....	106
Figura 5.14 Localizaciones posibles de la fisura de una unión adhesiva.....	107
Figura 5.15 Tipos más comunes de uniones para lámina metálica.....	108
Figura 5.16 Tipos de uniones solapadas mas utilizadas.....	109
Figura 5.17 Variación de la resistencia de la unión adhesiva incrementando anchura y longitud de solapamiento.....	110

Figura 5.18 Variación de la resistencia de la unión adhesiva frente al solapamiento para diferentes grosores.....	110
Figura 5.19 Efecto del “factor de junta” sobre la resistencia de las uniones adhesivas.....	111
Figura 5.20 Unión adhesiva tensionada a pelado.....	111
Figura 5.21. Secuencia de fallo del adherente para una unión a solape simple.....	112
Figura 5.22. Tipos de uniones a tope para tubos.....	113
Figura 5.23 Mejoras de diseño para uniones en T.....	114
Figura 5.24 Soluciones de diseño para ensamblajes adheridos.....	114
Figura 5.25 Defectos típicos en uniones adhesivas.....	116
Figura 5.26 Técnicas de la inspección ultrasónica de END en adhesivos.....	119
Figura 5.27 Probeta para ensayo de Tracción.....	122
Figura 5.28 Tipos comunes de ensayos de pelado para adhesivos a) floating roller peel (pelado del rodillo flotante), b) climbing drum peel, c) T-peel (pelado en T).....	122
Figura 5.29 Probeta para Ensayo de Impacto.....	124
Figura 5.30 Absorción típica de oxígeno de polímeros puros y modificado....	130
Figura. 7.1 Perma epoxy.....	146
Figura 7.2 Maquina utilizada para el ensayo de tracción y pelado.....	148
Figura. 7.3 Fallo del adhesivo Perma Epoxy.....	148
Figura. 7.4 Probeta A del ensayo de Pelado con la resina Perma Epoxy.....	149
Figura. 7.5 Probeta B del ensayo de Pelado con la resina Perma Epoxy.....	149
Figura. 7.6 Probeta C del ensayo de Pelado con la resina Perma Epoxy.....	150
Figura. 7.7 Poxy Bonder.....	151
Figura7.8 Maquina utilizada para el ensayo de tracción y pelado.....	153
Figura. 7.9 Fallo del adhesivo Poxi Bonder.....	153
Figura. 7.10 Probeta A del ensayo de Pelado con la resina Poxy Bonder.....	154
Figura. 7.11 Probeta B del ensayo de Pelado con la resina Poxy Bonder.....	154

Figura. 7.12 Probeta C del ensayo de Pelado con la resina Poxy Bonder....	155
Figura. 7.13 Super Epoxy.....	156
Figura 7.14 Maquina utilizada para el ensayo de tracción y pelado.....	158
Figura. 7.15 Fallo del adhesivo Super Epoxy.....	158
Figura. 7.16 Probeta A del ensayo de Pelado con la resina Super Epoxy.....	159
Figura. 7.17 Probeta B del ensayo de Pelado con la resina Super Epoxy....	159
Figura. 7.18 Probeta C del ensayo de Pelado con la resina Super Epoxy....	160
Figura. 7.19 Marine Epoxy.....	161
Figura. 7.20 Maquina utilizada para el ensayo de tracción y pelado.....	163
Figura. 7.21 Fallo del cohesivo Marine Epoxy.....	163
Figura. 7.22 Probeta A del ensayo de Pelado con la resina Marine Epoxy...	164
Figura. 7.23 Probeta B del ensayo de Pelado con la resina Marine Epoxy...	164
Figura. 7.24 Probeta C del ensayo de Pelado con la resina Marine Epoxy...	165
Figura. 7.25 2Ton Epoxy.....	166
Figura. 7.26 Maquina utilizada para el ensayo de tracción y pelado.....	168
Figura. 7.27 Fallo del adhesivo 2 Ton Epoxy.....	168
Figura. 7.28 Probeta A del ensayo de Pelado con la resina 2 Ton Epoxy.....	169
Figura. 7.29 Probeta B del ensayo de Pelado con la resina 2 Ton Epoxy.....	169
Figura. 7.30 Probeta C del ensayo de Pelado con la resina 2 Ton Epoxy.....	170

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Tipo de fallo y sus causas.....	27
Tabla 1.2. Causas y remedios para modos de fallo.....	28
Tabla 1.3. Composición, características y equivalencia en otras normas del acero SAE 1020.....	30
Tabla 2.1. Métodos de pretratamiento en diferentes sustratos.....	34
Tabla 2.2 Ácidos y bases más importantes en el decapado.....	40
Tabla 3.1 Comparación entre adhesivos estructurales.....	46
Tabla. 3.2 Características de los distintos sistemas adhesivos epoxi.....	55
Tabla. 3.3 Propiedades del adhesivo Perma Poxy.....	68
Tabla. 3.4 Propiedades del adhesivo Poxi Bonder.....	69
Tabla. 3.5 Propiedades del adhesivo 2 Ton Epoxy.....	70
Tabla. 3.6 Propiedades del adhesivo Marine Epoxy.....	71
Tabla. 3.7 Propiedades del adhesivo Super Epoxy.....	72
Tabla 4.1 Materiales activos y pasivos y su efecto en el curado anaeróbico..	77
Tabla 5.1 Inspección visual para los enlaces culpables.....	118
Tabla 6.1. Normas ASTM para determinar las propiedades de un adhesivo..	135
Tabla 7.1 Comparación de resultados del esfuerzo de tracción de los adhesivos.....	171
Tabla 7.2 Comparación de resultados de la fuerza de pelado de los adhesivos.....	171

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A.- NORMAS MÁS UTILIZADAS PARA LOS ENSAYOS DE ADHESIVOS.....	178
ANEXO B.- ESPECIFICACIÓN ASTM APLICABLES PARA LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN Y PELADO.....	196
ANEXO C.- CATÁLOGOS DE SEGURIDAD DE LOS ADHESIVOS.....	197
ANEXO C1.- CATÁLOGOS DE SEGURIDAD DEL ADHESIVO PERMAPOXY.....	198
ANEXO C.2- CATÁLOGOS DE SEGURIDAD DEL ADHESIVO 2 TON EPOXY.....	199
ANEXO C3.- CATÁLOGOS DE SEGURIDAD DEL ADHESIVO MARINE EPOXY.....	200
ANEXO C4.- CATÁLOGOS DE SEGURIDAD DEL ADHESIVO SUPER EPOXY.....	201

INTRODUCCIÓN

La importancia del uso de la soldadura en la industria ha hecho que días atrás se investiguen nuevas tecnologías para las uniones de juntas metálicas. Hoy podemos contar con otro método, la cual nos ofrece mejores ventajas tales como propiedades mecánicas, existentes, etc., y a un costo muy inferior, esto se lo realiza con ayuda de los adhesivos epóxicos.

Las uniones de juntas con adhesivos epóxicos van en auge, ya que su aplicación en las industrias ha hecho que existan una amplia variedad de los mismos. En el mercado nacional podemos encontrar en su mayoría adhesivos de origen americano y el esfuerzo que puede alcanzar depende de su correcta aplicación.

A la vez, las fuerzas de adhesión y cohesión que brindan los adhesivos, permiten resistir esfuerzo que llegan hasta los 34000 PSI, la cual puede variar en base a la calidad del sustrato utilizado, diseño de la unión, temperatura, tiempo de curado, tratamiento superficial, etc.

La fácil preparación de la mezcla de los componentes de la adhesivos, han permitido que su aplicación pueda ser realizado no solo en las industrias, sino también en talleres mecánicos, en el hogar, etc. Nos permiten reparar desde piezas tan pequeñas, hasta algunas tan grandes y con formas irregulares.

El continuo avance en el desarrollo de nuevos adhesivos, aportaran con mejores propiedades mecánicas de las que hoy nos ofrecen.

RESUMEN

Los adhesivos se han utilizado desde hace muchos años atrás, y en la actualidad se están utilizando en gran manera debido a que su campo de aplicación en la industrias es muy amplio y variado gracias a las ventajas que nos ofrecen entre las principales son: la distribución uniforme de tensiones, Rigidización de las uniones, ninguna deformación del sustrato económico, ect. en relación a otros métodos de unión, ninguna adhesivos en general se forman a base de varios componentes como: el material base, los aditivos, las cargas espesantes, disolventes y endurecedores.

Una vez formado el mecanismo de unión su duración depende de la fuerza de adhesión y cohesión.

Se debe tener en cuenta las teorías de adhesión: la teoría mecánica, eléctrica, difusión, adsorción

Al momento de formar una unión adhesiva no se quiere que estas fallen de ninguna manera pero suceden fallos y estos son: fallo cohesivo, adhesivo y mixto. Para disminuir estos fallos es necesario tener en cuenta un aspecto fundamental como lo es el tipo de sustrato que se utilizará para realizar la unión adhesiva, se puede utilizar una gran variedad de sustrato, en este caso el sustrato utilizado fue el acero SAE 1020 por sus propiedades y por ser uno de los mas utilizados dentro de la industria.

Para realizar una correcta adhesión sustrato / adhesivo se debe realizar y elegir el método correcto de limpieza superficial dentro de las cuales se puede nombrar, la limpieza con disolventes, los tratamientos abrasivos, químicos, los imprimantes entre los mas importantes.

Al momento de elegir los adhesivos a utilizar se debe tener en cuenta que propiedades nos ofrece el adhesivo, por eso es necesario conocer su clasificación, ya que existe una amplia gama de adhesivos en la industria, estos se clasifican: por su forma de aplicación, por su uso industrial (donde se encuentran los epoxis), por el método de curado entre otros.

Los epoxis llamadas también adhesivos estructurales, se encuentran formados por monómeros, en base a epoxis, una resina baja, agentes de curado, cargas como aluminio, espesantes, pigmentos, endurecedores, flexibilizadores entre otros.

Las resinas epóxicas a su vez se clasifican en: epoxis tenaces, de un componentes y de varios componentes (resina y endurecedor), estos últimos son los mas fáciles de encontrar en el mercado nacional.

Durante el pegado del adhesivo al sustrato ocurre un proceso de gran importancia como es el curado que se lo realiza por varias formas pero que constan de tres etapas fundamentales: la etapa líquida (tiempo abierto o de trabajo), la etapa de gel (fase inicial del curado) y la etapa sólida (fase final del curado).

Para realizar y obtener resultados de una junta unida por adhesivos se debe tomar en consideración los siguientes aspectos: sustrato de calidad, diseño de las juntas, métodos de ensayos aplicados a las juntas, los esfuerzos de las uniones adhesivas, (que se encuentran dadas por las normas ASTM D2095 Ensayos de Tracción, ASTM D1876-72 Ensayo de Pelado), las condiciones de uso de los adhesivos que deben ser los adecuados de acuerdo a las especificaciones de los fabricantes, la obtención de un buen contacto interfacial, etc. Existen varios factores que inciden sobre la duración de la unión adhesiva estos son: efecto de la temperatura, efecto de la humedad, resistencia química, envejecimiento entre las más importantes, se puede mejorar la unión, interponiendo barreras a la difusión del agua, inhibiendo o retardando la hidratación, aplicando imprimaciones adecuadas.

Si no se utiliza de manera correctas los adhesivos puede causar serios problemas a la salud, entre las mas importantes, irritaciones cutáneas, irritación a los ojos, a las vías respiratorias, para evitar estos es necesario utilizar la protección personal y un ambiente adecuado entre protección personal se puede usar guantes, mascarillas, etc. Se debe realizar el pegado en un lugar ventilado, ect.

CAPITULO I

LOS ADHESIVOS EN LA INDUSTRIA

1.1 EVOLUCIÓN DE LOS ADHESIVOS

Si se observa atentamente a nuestro alrededor se puede distinguir que la totalidad de los objetos que nos rodean presentan ejemplos de adhesiones.

Sin ir más lejos, en el mundo animal se puede encontrar varios ejemplos sobre el uso de agentes adhesivos: así, por ejemplo, las telas de araña deben su consistencia estructural a la presencia de agentes adhesivos. Otra muestra es el uso de sustancias con características adhesivas en la construcción de los nidos de los pájaros.

El uso del adhesivo se remonta a la prehistoria es así que se han hallado vestigios del uso de la sangre animal como agente adhesivo para unir collares, las estatuas babilonias, que datan del año 4000 A.C. Los egipcios emplearon adhesivos hacia el 1800 A.C., para unir láminas de madera. En este caso el adhesivo empleado procedía de la cocción de huesos de animales. Los romanos, por ejemplo, usaban brea obtenida de la madera de pinos y cera de abejas como un adhesivo a prueba de agua para construir barcos. La cera de abejas sigue usándose hoy en día como un adhesivo confiable.

En 1750 fue expedida la primera patente para un pegamento o adhesivo en Gran Bretaña. Se trataba de un pegamento hecho a partir de pescado. Rápidamente se patentaron otros adhesivos que utilizaban caucho natural, huesos de animales, pescado, almidón y proteína de la leche o caseína.

Sin embargo, el uso masivo de los adhesivos no comienza hasta finales del siglo XIX, con la primera emisión de sellos de correos, en 1840. El uso de adhesivos en base a almidón permitió que la correspondencia pudiera ser franqueada simplemente con adherir un pedazo de papel al sobre. Este invento, fue tan bien recibido que aún en la actualidad se sigue empleando.

En el año de 1920 Drew desarrollo las primeras cintas industriales, el impulso más

espectacular que experimentó el adhesivo industrial fue provocado por las necesidades tecnológicas que planteó la industria armamentística durante la II Guerra Mundial.

Así, en este período se empiezan a comercializar, entre otras resinas, los adhesivos epoxi (adhesivos normalmente bicomponentes), cuya patente había aparecido en 1943. La tecnología anaeróbica tiene su aplicación en la industria armamentística a partir de 1953. Posteriormente se introduce en la industria de la automoción. Aunque tales sustancias ya fueron descritas por Burnett y Nordlander en los años 40' y fue Vernon K. Krieble el científico que modificó la composición de aquellas resinas convirtiéndolas en adhesivos aptos para su uso industrial.

El primer pegamento sintético (derivados de residuos de petróleo) fue descubierto por casualidad, cuando los químicos de la compañía Eastman-Kodak accidentalmente pegaron dos prismas mientras probaban las propiedades refractarias a la luz de nuevos compuestos orgánicos. La sustancia culpable del desastre, llamada cianoacrilato (adhesivo monocomponente), también conocida como Supercola o Kola Loca, que fue descubierta por el Dr. Harry Coover y su colega el Dr. Fred Joyner en 1951, ambos investigaban en el laboratorio un polímero resistente al calor, cuando Joyner puso una película de cianoacrilato entre dos prismas y descubrió que éstos se habían pegado este fue desechado por ser muy pegajoso.

Aunque descubiertos por científicos de Eastman Kodak fue Loctite quien comercializó los cianoacrilatos con fines industriales hacia 1958. Su uso fundamental se encuadró dentro de la industria electrónica, aunque pronto se extendió a otros sectores. En la actualidad se están empezando a emplear con fines médicos como sutura química. Los adhesivos reforzados con caucho comienzan a emplearse a partir de 1965. Pretenden cubrir aquellas aplicaciones en las cuales las uniones adhesivas pueden ser sometidas a esfuerzos de pelado.

Poco después, Charles Goodyear en 1983 descubre que mediante los procesos de vulcanización (reacción química en la cual las propiedades físicas de un

caucho varían en el sentido del flujo plástico decreciente, de menos resistencia superficial, y de la resistencia a la tracción aumentada, haciéndolo reaccionar con azufre u otros agentes adecuados) se logra la adhesión directa de caucho sobre metal. Los adhesivos en base a látex aparecen en 1987.

En la actualidad se está trabajando en combinaciones entre poliuretanos (es una resina sintética que se obtiene mediante condensación de poliésteres) y epoxis.

La fabricación de poliuretanos ha experimentado un tremendo desarrollo durante los últimos 15 años. Aunque se conocían desde mucho antes, su uso como adhesivos en la construcción, la industria naviera y la industria de la automoción ha tenido un enorme impulso recientemente.

Aunque los adhesivos anaeróbicos se emplean en elementos de máquinas desde hace décadas, ha sido hace aproximadamente 20 años cuando se han empezado a aplicar masivamente en motores, cajas de cambio, sistemas de transmisión, etc. Su uso va estrechamente ligado con el enorme incremento que han experimentado las vidas medias de funcionamiento de las máquinas.

Teniendo en cuenta la gran aceptación de los adhesivos en nuestra época a continuación se hablará de los pros y los contras de los adhesivos, y para esto es necesario conocer que es un adhesivo, sus ventajas y desventajas.

1.2 CONCEPTOS BÁSICOS DE LA ADHESIÓN

Se puede definir **adhesivo** como aquella sustancia que aplicada entre las superficies de dos materiales permite una unión resistente a la separación (Fig. 1.1). La unión formada, parecida a una película, puede ser resistente a la tracción mecánica, a la agresión química y ser estable frente a la acción atmosférica, temperatura y tiempos de uso.

Denominamos **sustratos o adherentes** a los materiales que pretendemos unir por mediación del adhesivo (Fig. 1.1). El conjunto de interacciones físicas y químicas que tienen lugar en la interfase adhesivo/adherente recibe el nombre de **adhesión**.

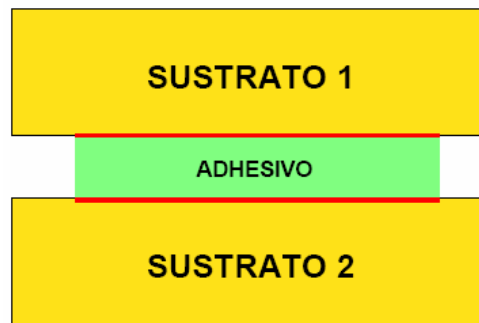


Fig. 1.1 Esquema básico de una unión adhesiva ¹

Es importante dejar claro que cada tipo de adhesivo tiene un ámbito de aplicación que depende de sus propiedades mecánicas y químicas, tanto antes como después de producirse su endurecimiento o curado.

Los adhesivos son compuestos muy complejos y a continuación se verá brevemente como se componen.

1.3 COMPOSICIÓN DE LOS ADHESIVOS

La composición de los adhesivos no se basa solo en el producto base que los constituyen, sino también del resto de aditivos empleados en su formulación. Los componentes de un adhesivo varían enormemente en base a la familia adhesiva a la que pertenezcan, a los mecanismos de curado. A continuación se puede mencionar una serie de componentes presentes en los adhesivos más importantes que se definen en base a su función, aunque las sustancias químicas empleadas pueden ser muy variadas.

Los constituyentes de un adhesivo genérico pueden ser:

1. **Producto base:** puede ser un único producto, mezcla de varios productos o modificaciones químicas de ciertos productos base. Es, casi siempre, una mezcla de monómeros, oligómeros y polímeros.
2. **Aditivos:** son sustancias que hacen variar las características físico-químicas del monómero, oligómero o polímero base del adhesivo antes y después del curado. Entre estos aditivos podemos distinguir:
 - a) **Iniciadores:** son sustancias que se emplean para que mediante algún tipo de mecanismo se activen e inicien la reacción de polimerización (Reacción química en la que 2 o mas moléculas se combinan para formar

otra.), esto se produce en el caso de los adhesivos monocomponentes reactivos.

- b) **Agentes de reticulación:** empleados para lograr la termoestabilización de ciertos adhesivos reactivos.
 - c) **Diluyentes:** reducen la concentración de sólidos del adhesivo mejorando su mojabilidad. Modifican, además, propiedades como la viscosidad y la procesabilidad.
 - d) **Colorantes:** confieren color al adhesivo.
 - e) **Antioxidantes:** evitan fenómenos de oxidación del monómero.
 - f) **Plastificantes:** modifican la temperatura de transición vítrea (cambio reversible en un polímero amorfo, o en las partes amorfas de un polímero parcialmente cristalizado, de una condición viscosa o gomosa hacia un estado duro y relativamente frágil y viceversa) y, en consecuencia, las propiedades físicas del adhesivo una vez curado.
 - g) **Agentes de “tack”:** sustancias que confieren viscosidad al adhesivo. Pueden ser sustancias naturales (derivados de resinas de pino) o sintéticas (derivados de residuos del petróleo).
 - h) **Surfactantes o tensoactivos:** agentes que mejoran la estabilidad de los adhesivos emulsionados.
 - i) **Sustancias fluorescentes:** permiten la localización del adhesivo sobre la pieza mediante detectores adecuados.
 - j) **Carriers:** soportes sólidos empleados fundamentalmente en adhesivos piezosensibles (material viscoelástico, libre de disolventes y permanentemente forma una unión resistente. Este material se adhiere instantáneamente a la mayoría de superficies sólidas con la aplicación de una presión muy ligera).
 - k) **Agentes de acoplamiento o promotores de la adhesión:** generan enlaces primarios con el sustrato cuando es necesario mejorar la durabilidad del adhesivo.
 - l) **Estabilizantes:** para mejorar la vida útil del producto.
3. **Cargas/espesantes:** en general son sustancias empleadas para modificar la reología (es la ciencia que estudia la deformación y el flujo de la materia, es decir, estudia los principios físicos que regulan el movimiento de los fluidos)

del adhesivo antes de curar y las características mecánicas del adhesivo curado, aunque también se pueden usar cargas inertes para abaratar el producto final.

4. **Disolventes:** sustancias que se emplean únicamente en los adhesivos en disolución y los adhesivos de contacto. Favorecen la procesabilidad y el “tack” del adhesivo. En muchas ocasiones se emplea agua en lugar de un disolvente orgánico.
5. **Endurecedores:** empleados como segundo componente en los adhesivos bicomponentes. Mezclados con el otro componente provocan la reacción química de curado.

1.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS ADHESIVOS

Las uniones adhesivas presentan las siguientes ventajas con respecto a otros métodos de ensamblaje de materiales:

- **Distribución uniforme de tensiones.-** se eliminan las puntas de tensión que aparecen en los taladros roscados y lisos empleados para montar tornillos y remaches. Así mismo, se evitan los cambios estructurales producidos por la soldadura en el material, que afectan su resistencia a la fatiga bajo cargas dinámicas (Fig. 1.2).

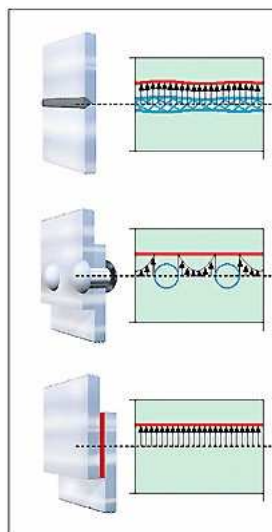


Fig. 1.2 Distribución de la tensión en montajes soldados, remachados y unidos con adhesivos ¹

- **Rigidización de las uniones.-** los adhesivos forman uniones continuas entre las superficies de la junta. Estas uniones son mucho más rígidas que las realizadas por remaches o puntos de soldadura que sólo conectan las superficies en puntos localizados. Las estructuras adheridas soportan cargas entre un 30% y un 100% superiores sin llegar a torcerse, en la figura 1.3 se puede observar como la primera tiene un efecto rigidizador muy superior sobre la junta.

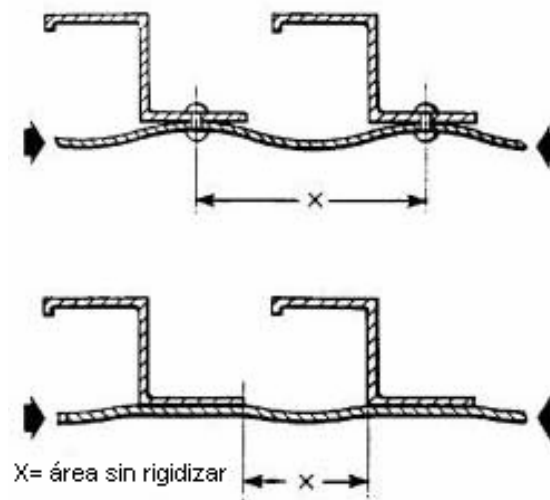


Fig.1.3 Comparación entre una unión adhesiva y una unión remachada. ⁸

- **No se produce deformación del sustrato.-** las piezas no se calientan y no sufren deformaciones debidas al calor o a esfuerzos mecánicos. Además, se permite el montaje sencillo de sustratos de diferentes masas y dimensiones.
- **Permiten la unión económica de distintos materiales.-** aunque la soldadura, por ejemplo, ya permite unir materiales cerámicos y metales, los adhesivos son una solución económica para la unión de materiales diferentes para que se use de manera más adecuada, las propiedades de cada uno.
- **Uniones selladas.-** los adhesivos actúan también como selladores. En ocasiones se emplean para hacer estancas otras uniones mecánicas.
- **Aislamiento.-** permite la unión de metales de diferentes propiedades electroquímicas, evitando fenómenos como la corrosión, la erosión por fricción y la corrosión por frotamiento. Por efecto ocupacional también evitan la entrada de agentes corrosivos como la humedad y el aire (Fig. 1.4).

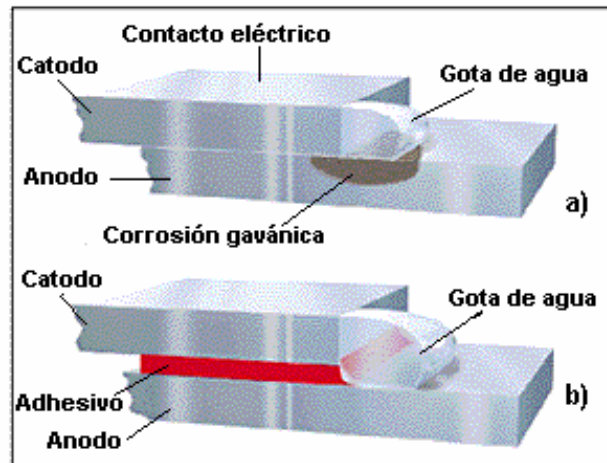


Fig.1.4. Observamos la presencia de corrosión galvánica (a) y con la presencia del adhesivo evita la formación de una corrosión galvánica (b).¹

- **Reducción del número de componentes.**- entre estos están los tornillos, pasadores, remaches, abrazaderas, etc., lo cual disminuye los costes asociados a la manipulación y almacenaje de estas piezas.
- **Mejora el aspecto del producto.**- las uniones adhesivas son más lisas, escondiendo las juntas a la vista y mejorando la estética del conjunto.
- **Compatibilidad del producto.**- los adhesivos aceleran los procesos de ensamblaje, aumentando la capacidad de producción.
- **Se minimiza la corrosión.**- a causa de que el adhesivo es un aislador no conductivo.
- **Uniones híbridas.**- los adhesivos usados en conjunción con métodos de ensamblaje mecánico mejoran el rendimiento global de la junta.
- **La unión es más resistente a las tensiones de flexión y fatiga por vibración.**- esto se debe a que los adhesivos son ligeramente flexibles, y pueden absorber energía vibratoria más efectivamente que los sujetadores y soldaduras.
- **Une superficies con formas irregulares.**- más fácilmente que como lo haría una sujeción mecánica.
- **Aplicación más fácil.**- son posibles aplicaciones verticales y horizontales .
- **Las propiedades químicas y físicas de los materiales.**- pegados no resultan alteradas utilizando el sistema adhesivo correcto (impermeabilidad a líquidos y gases, resistencia a la conductividad eléctrica o calorífica, resistencia a productos químicos, etc.).

Las uniones adhesivas presentan las siguientes desventajas;

- **La necesidad de preparar la superficie.-** esto contribuye al costo total de la operación y puede causar problemas de control de calidad.
- **El tiempo de curado.-** muchos adhesivos requieren varios minutos para alcanzar la fuerza necesaria de unión, y varias horas para desarrollar una total resistencia, y algunas operaciones de montaje no aceptan esta limitación de tiempo.
- **Desmontaje.-** las uniones adhesivas pueden ser difíciles de desmontar.
- **Resistencias mecánica y temperatura limitada.-** los adhesivos son polímeros y en consecuencia tienen resistencia mecánica y temperatura limitadas.
- **Las uniones no son igualmente fuertes en todas direcciones.-** son más fuertes en compresión, tracción y esfuerzos cortantes, pero más débiles a las fuerzas de desgarro (modo de sollicitación de una zona de pegado que une dos adherentes rígidos, que no es uniforme sobre toda la superficie y que presenta un esfuerzo concentrado en un borde) y pelado (desprendimiento).
- **Costos de procesamiento y equipo.-** la inversión de capital en equipo y herramental para procesar componentes puede ser considerable si es necesario pegar áreas extensas o el producto debe cumplir requisitos de servicio especiales. Las ventajas de las uniones pegadas con adhesivo deben equilibrarse contra el costo de autoclaves, prensas, herramental y otros equipos especiales requeridos para llevar a cabo la operación de pegado.

1.5 APLICACIONES

Una vez que se conoce las ventajas y desventajas que los adhesivos proporcionan es necesario citar varias de las aplicaciones de estos en las diferentes industrias.

Las aplicaciones industriales de las uniones adhesivas son extensas y están en desarrollo. Los usuarios principales son:

- La industria automotriz, utiliza a los adhesivos como un sistema de ensamblaje que se adapta perfectamente a las necesidades de la cadena de montaje, disminuyendo el tiempo y permitiendo la eliminación de las operaciones

adicionales, imprescindibles en otros sistemas de unión.

- Carrocerías ligeras, la incorporación de los adhesivos tiene como finalidad mejorar la calidad y seguridad del vehículo, ofreciendo mejores prestaciones y reduciendo el peso final (Fig. 1.5).
- Fabricación modular consiste en el ensamblaje en pequeñas cadenas de subconjuntos formados por varios elementos, que pueden desempeñar diferentes funciones, pero que están montados en un solo conjunto. De esta forma, los niveles de productividad de las líneas de montaje aumentan, suponiendo un ahorro de tiempo considerable.
- La utilización de los adhesivos es una alternativa para la unión de materiales de diferente naturaleza, como es el caso de los vidrios a la carrocería (Fig. 1.5).
- Uniones combinadas combinando los adhesivos y la soldadura por puntos da resistencia al ensamblaje completo de las carrocerías. Esta técnica aporta robustez a la carrocería y evita la corrosión de la junta. En otros casos, se utilizan subconjuntos de aluminio unidos al acero por adhesivos y remaches, lo que permite mantener fija e inmóvil la unión hasta que el adhesivo polimerice y adquiera la resistencia final (Fig. 1.5).
- Uniones que no deben pegarse con adhesivos deben cumplir una serie de exigencias de calidad y seguridad, siendo el fabricante del vehículo quien determina sus zonas concretas de aplicación. No deben unirse piezas donde la superficie de contacto no permita la suficiente resistencia y garantía, o las que soportan grandes esfuerzos, tales como puntos de unión de elementos mecánicos.

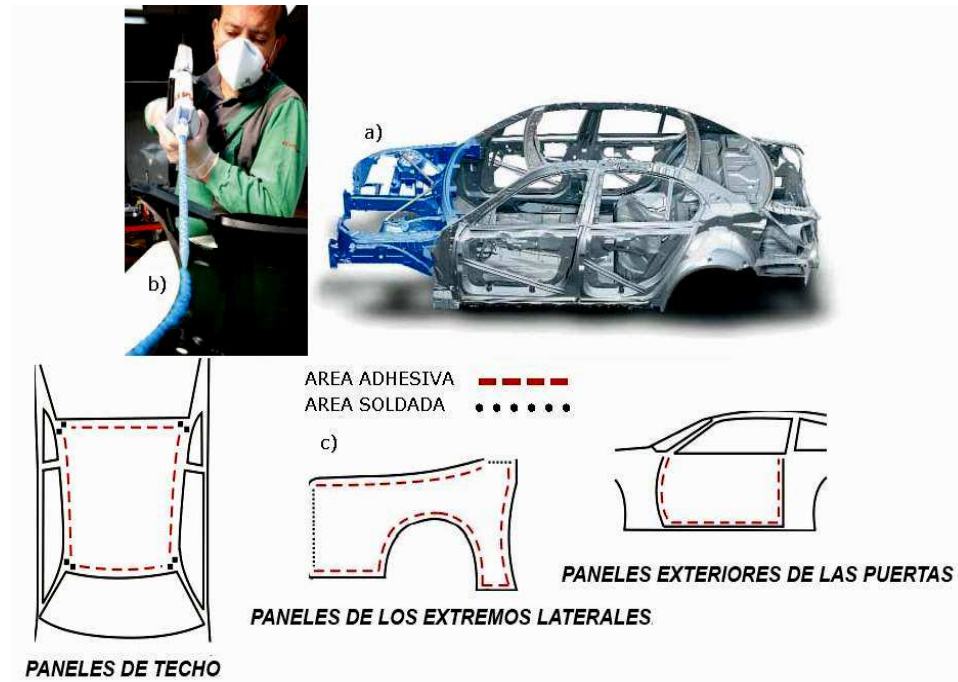


Fig.1.5. Aplicación en carrocerías (a), aplicación para pegar diferentes materiales (b) y Combinación de adhesivos y soldadura en la industria automotriz (c)

- La industria del calzado
- Las colas hechas de colágeno, se usan en la industria de la madera y contrachapado, la encuadernación de libros, la fabricación de papel engomado y en la unión de tejido y madera.
- La industria eléctrica y electrónica tales como:
 - En los microchips (Fig. 1.6)



Fig. 1.6. Aplicación en los chips.

- En los teléfonos celulares
- En los marcapasos
- En una red de fibra óptica
- En una célula fotovoltaica

- Las industrias dedicadas a la construcción de embarcaciones como se observa en la Fig. 1. 7
 - Como sellante para impermeabilizar una superficie.
 - Como material de relleno en un agujero.



Fig.1.7. Aplicaciones de los adhesivos en la industria naviera.

- La industria aeroespacial.

1.6 ADHESIÓN Y COHESIÓN

Teniendo el conocimiento básico de los adhesivos se va a estudiar las principales fuerzas que intervienen en la unión adhesiva.

Como ya se sabe los adhesivos son puentes entre las superficies de los sustratos, sean estos del mismo o de distinto material. El mecanismo de unión depende de:

- La fuerza de unión del adhesivo al sustrato llamada **adhesión** (Fig. 1.8)
- La fuerza interna del adhesivo llamada **cohesión** (Fig. 1.8)

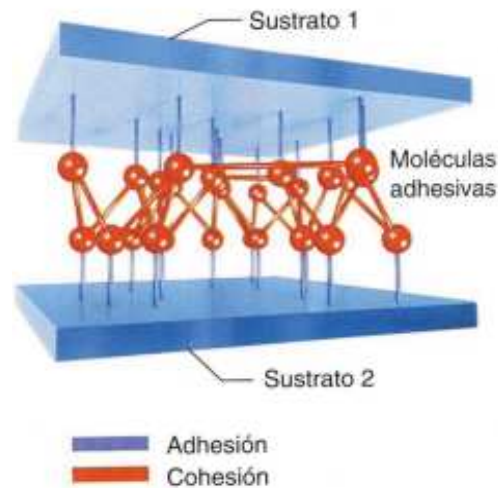


Fig. 1.8 Fases de una unión adhesiva. ¹

Por **adhesión** se entiende la fuerza de unión en la interfase de contacto entre dos materiales (Fig. 1.9). Las fuerzas físicas y mecánicas de atracción y adsorción, que se describen como fuerzas de Vander Waals (fuerzas intermoleculares de atracción), tienen una gran importancia en la unión. La máxima adhesión se consigue cuando el adhesivo está en contacto íntimo con las zonas a unir y la mínima adhesión se consigue cuando el adhesivo no está en contacto íntimo con las zonas a unir. Este es el motivo por el que el adhesivo debe penetrar totalmente en la rugosidad superficial y mojar toda la superficie. La resistencia de la fuerza adhesiva depende del grado de mojado (contacto intermolecular) y de la capacidad adhesiva de la superficie

Para una determinada tensión superficial del adhesivo, el mojado depende de la energía superficial del sustrato, la contaminación superficial reducirá notablemente esta energía, por lo que la limpieza de las superficies a unir es fundamental para obtener una buena unión adhesiva.

La **cohesión** es la fuerza predominante entre las moléculas dentro del propio adhesivo, manteniendo el material unido (Fig. 1.9). Estas fuerzas incluyen:

- Fuerzas intermoleculares de atracción (fuerzas de Vander. Waals)
- Enlaces entre las propias moléculas de polímero

La cohesión del adhesivo será por tanto la máxima resistencia esperable en una unión adhesiva.

Una cohesión elevada indica normalmente una buena resistencia al calor, baja adhesión a temperaturas bajas, adhesión inicial moderada y buena convertibilidad.

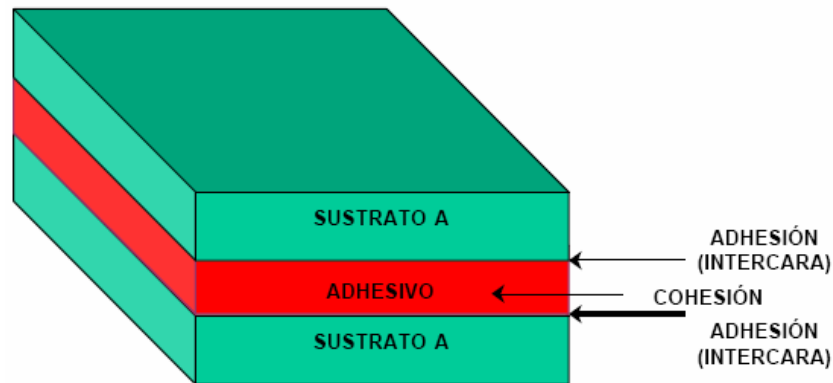


Fig.1.9 Diferenciación entre adhesión y cohesión. ¹

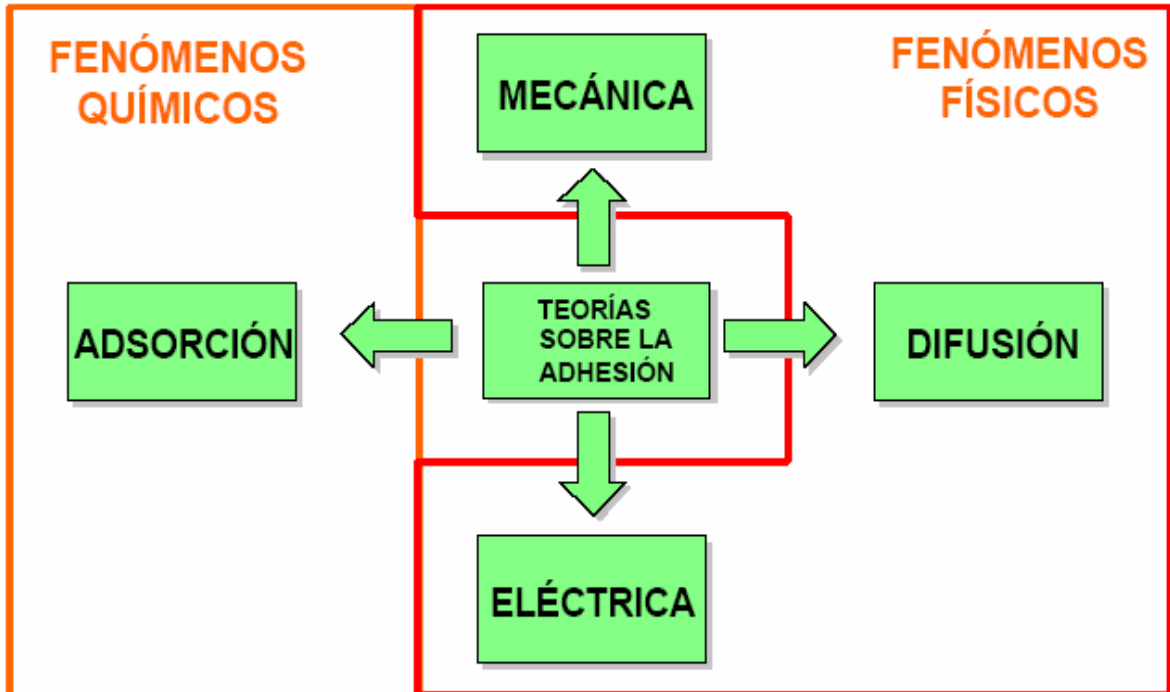
De acuerdo con la regla de que una cadena es tan fuerte como su eslabón más débil, las fuerzas de adhesión y cohesión que actúan en una unión deberían ser aproximadamente iguales.

1.6.1 TEORÍA DE LA ADHESIÓN

Una vez que se conoce que es la adhesión y cohesión ahora se verá los diferentes mecanismos de adhesión.

Los mecanismos o modelos de adhesión tratan de explicar las causas por las que se produce la adhesión entre dos materiales. No existe un modelo de adhesión universal, cada unión adhesiva puede ser explicada considerando varios modelos de adhesión conjuntamente, no obstante, que la carencia de adhesión en algunas uniones no puede ser explicada mediante los modelos de adhesión existentes.

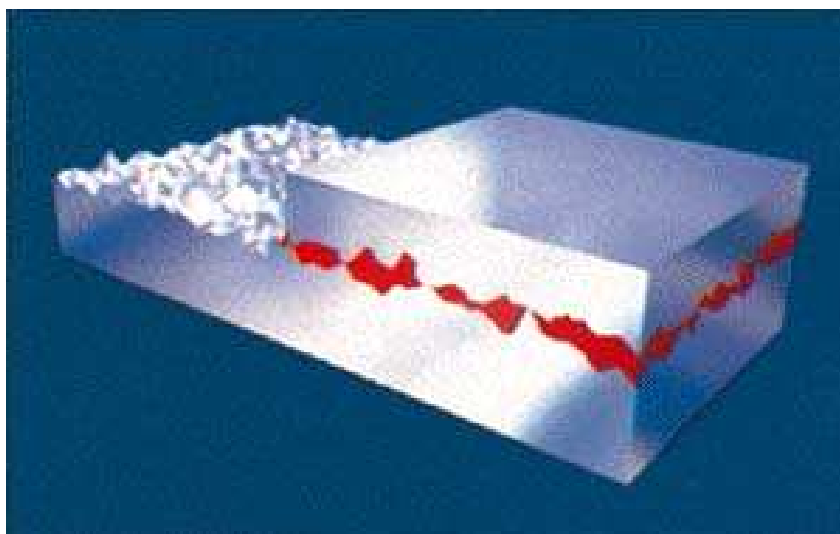
Los modelos de adhesión más aceptados son el modelo mecánico, el modelo de la difusión, el modelo eléctrico, el modelo de adsorción y el modelo de las capas débiles de ruptura preferente (Fig. 1.10), existen otros que no son tan aceptados que veremos mas adelante.

Fig.1.10 Teorías de adhesión ¹

1.6.1.1 MODELO MECÁNICO

Es la primera y más antigua de las teorías de adhesión. Considera que la adhesión se debe al anclaje del adhesivo en los poros y rugosidades superficiales del sustrato (Fig. 1.11). Dos son las contribuciones que favorecen la adhesión:

1. El aumento de la superficie del sustrato debido a la creación de rugosidades.
2. La penetración del adhesivo en las rugosidades del sustrato.

Fig.1.11 Modelo de adhesión mecánica. ¹

Este modelo explica la adhesión de materiales porosos como la madera, tejidos, fibras textiles, papel.

Algunas de las uniones adhesivas que se justifican mediante el modelo mecánico son las siguientes:

- 1) Metalizado de plásticos. Los plásticos no tienen afinidad por los metales. La creación de heterogeneidades en la superficie del plástico favorece el anclaje del recubrimiento metálico.
- 2) Tratamiento de metales por abrasión mecánica (uniones estructurales de metales y aleaciones metálicas). Se realiza antes de aplicar tratamientos químicos, produciendo los siguientes efectos:
 - a) Creación de una topografía superficial adecuada.
 - b) Eliminación de sustancias antiadherentes de la superficie como contaminantes o grasas.
 - c) Incremento de la superficie de unión del adhesivo con el metal.

El modelo de adhesión mecánica es de gran importancia. En algunas uniones adhesivas, la adhesión que se obtiene mediante tratamientos químicos es similar a la que producen los tratamientos mecánicos.

Se debe distinguir dos topografías diferentes en la superficie:

Los poros.- se crean en metales fundamentalmente mediante tratamiento con chorro de arena. El efecto que se produce es un incremento de la superficie de contacto con el adhesivo (Fig. 1.12).

Las hendiduras.- generan una adhesión inferior que los poros, pero mejoran en mayor medida el mojado de la superficie (Fig. 1.12)

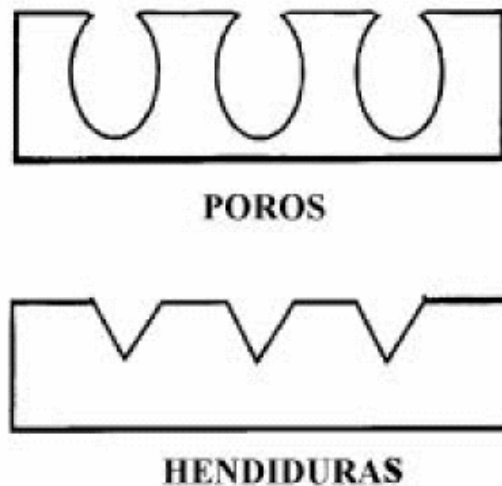


Fig.1.12 Diferentes Topografías creadas en las superficies de sustratos mediante abrasión mecánica. ¹

1.6.1.2 MODELO ELÉCTRICO

En uniones metal/adhesivo, la diferente naturaleza de los materiales (el adhesivo suele ser un polímero) a un condensador plano cuyas placas están constituidas por la doble capa eléctrica que se forma cuando dos materiales de naturaleza diferente se ponen en contacto (Fig. 1.13). El resultado es la creación de una doble capa eléctrica en la interfase. La existencia de la doble capa eléctrica se observa realizando experimentos muy sencillos. Por ejemplo, cuando las uniones adhesivo/metal se separan a alta velocidad, aparecen destellos eléctricos. Además, se observa un incremento de la adhesión. Las fuerzas electrostáticas implicadas en la separación de la unión pueden ser el resultado más que la causa del incremento de la adhesión.

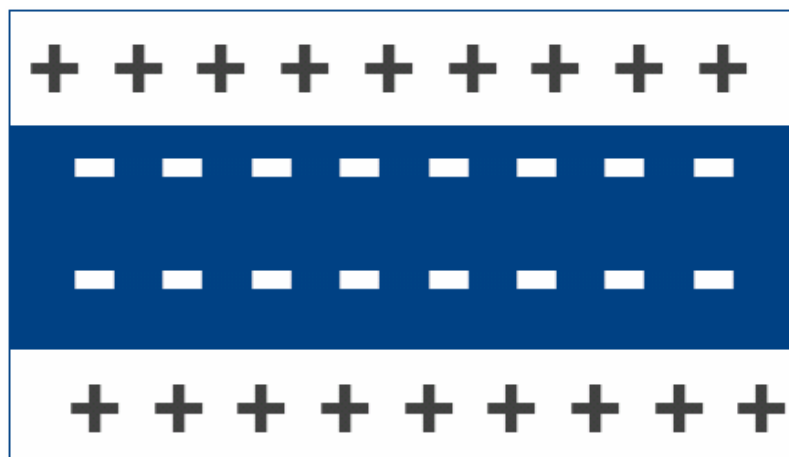


Fig.1.13 Teoría eléctrica. ¹

1.6.1.3 MODELO DE LA DIFUSIÓN

La teoría de la difusión se utiliza para explicar la adhesión de los polímeros entre sí, es decir permite explicar la autoadhesión entre polímeros idénticos. Postula como mecanismo de adhesión la migración de cadenas poliméricas largas que son mutuamente solubles entre las dos superficies de los polímeros en contacto. Para que se produzca una difusión óptima, los polímeros deben ser miscibles, es decir, solubles entre sí. Este fenómeno se encuentra limitado a la autoadhesión, a la adhesión de polímeros compatibles y quizás también a la soldadura con disolvente.

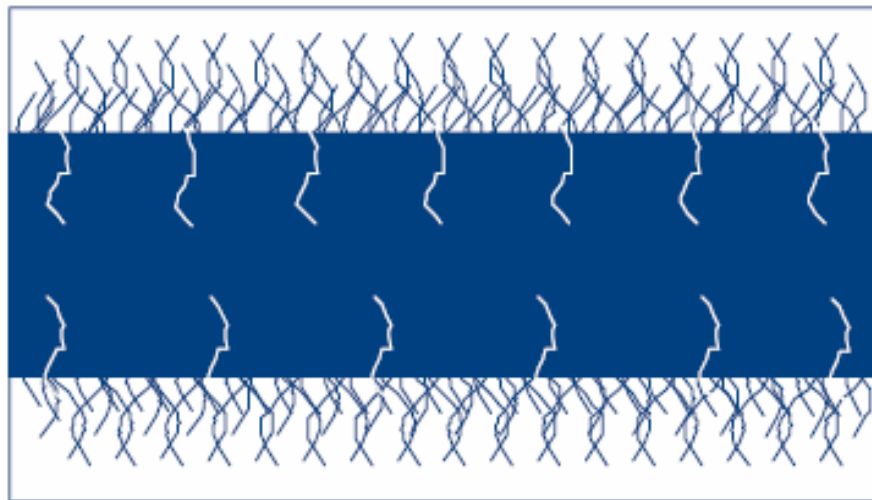


Fig. 1.14 Teoría de la difusión ¹

1.6.1.4 MODELO DE LA ADSORCIÓN TERMODINÁMICA O MOJADO SUPERFICIAL

Este modelo explica muchas de las uniones adhesivas que se realizan habitualmente y da validez general para cualquier proceso de adhesión. El modelo establece que para que se produzca una adecuada adhesión deben existir múltiples zonas de contacto entre el adhesivo y la superficie del sustrato. La adhesión termodinámica será tanto mejor cuanto mayor sea la mojabilidad del adhesivo por el sustrato, este modelo implica la creación de fuerzas intermoleculares en la interfase adhesivo/sustrato, estas fuerzas se denominan "fuerzas de humectación o mojabilidad" porque cuando se forma una unión adhesiva se pasa por una fase de contacto entre el líquido y el sólido, y este proceso es al fin y al cabo de mojado. En general, se distinguen diferentes tipos

de fuerzas involucradas en el fenómeno de adsorción, dichas fuerzas son enlaces secundarios (“físicos”), tales como fuerzas de van der Waals y enlaces de hidrógeno. No obstante, conviene destacar que la adhesión mediante fuerzas secundarias puede ser muy fuerte si se produce un elevado número de enlaces. Adicionalmente a los enlaces secundarios, se pueden generar enlaces primarios (“químicos”) en la interfase, principalmente enlaces covalentes y enlaces iónicos que mejoran la durabilidad de las adhesiones. Su contribución a la adhesión forma parte del modelo del enlace químico. Para cuantificar la mojabilidad se miden los ángulos de contacto (θ) de diversos líquidos patrón sobre la superficie del sustrato. A partir de los valores de ángulo de contacto se puede calcular la energía de superficie (W_A) del sustrato con la siguiente ecuación:

$$W_A = Y_1 (1 + \cos \theta) \quad (1.1)$$

Donde Y_1 es la tensión superficial del líquido esto se verá mas adelante.

1.6.1.5 MODELO DE LAS CAPAS DÉBILES DE ROTURA PREFERENTE

Es uno de los modelos de adhesión más comunes. Permite explicar la carencia de adhesión en muchas uniones.

Existen dos casos:

1. El tratamiento superficial de un sustrato demasiado agresivo produce una capa superficial deteriorada, la cual cuando se realice un ensayo de adhesión, actuará como zona débil y la fractura de la unión se dirigirá hacia esta zona. En tal caso, el fallo de la unión no será interfacial sino cohesivo en la capa superficial (Fig.1.15a).
2. Una limpieza inadecuada de la superficie puede reducir el número de puntos de anclaje en la interfase y, por tanto, deteriorar la adhesión (ver figura 1.15b).

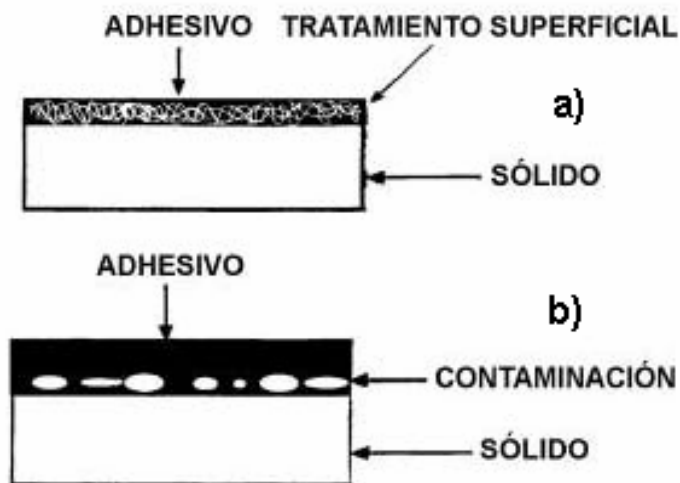


Fig.1.15a Tratamiento superficial en el sustrato demasiado agresivo. Fig.1.15b Limpieza inadecuada de la superficie de los sustratos. ¹

El principio del modelo es la propagación de la fractura de una unión adhesiva que no tiende a producirse en la zona interfacial, sino que tiende a dirigirse hacia zonas débiles de la superficie del sustrato o del adhesivo.

Las capas interfaciales de cohesión débil se producen por diversas circunstancias:

- 1) Contaminación (por ejemplo: burbujas de aire, polvo, humedad) que no se ha eliminado de la superficie del sustrato antes y/o durante la formación de la unión adhesiva. Es común en los metales.
- 2) Sustancias de bajo peso molecular o aditivos que migran a la interfase una vez que se ha formado la unión. Es el caso de la migración de antioxidantes (como ceras) a las superficies de los cauchos.
- 3) Reacciones entre el sustrato y el adhesivo una vez que se ha producido la unión adhesiva. Se puede producir la creación de nuevas estructuras cuyas propiedades sean diferentes a las de la interfase.
- 4) Excesivo o inadecuado tratamiento superficial:
 - a) Abrasión excesiva produce un debilitamiento mecánico del material que puede favorecer fallos prematuros o inesperados en las uniones adhesivas.
 - b) Halogenación excesiva de cauchos provoca un deterioro de la superficie

tratada que genera un “endurecimiento” de la superficie en contacto con la interfase.

1.6.1.6 MODELO DEL ENLACE QUÍMICO

Considera que la adhesión se debe a la creación de enlaces primarios entre el sustrato y el adhesivo. Esto se logra mediante:

- 1) Tratamientos superficiales de los sustratos.
- 2) Empleo de adhesivos reactivos (por ejemplo, epoxi o cianoacrilatos).

Se pueden formar diferentes tipos de enlaces:

- 1) Covalentes: por ejemplo, en la interfase entre elastómeros y adhesivos epoxi.
- 2) Iónicos: por ejemplo, la interacción de óxido de zinc con ácido poliacrílico.

Hay dos sistemas reconocidos cuya adhesión se justifica fundamentalmente mediante adhesión química:

- 1) Incorporación de complejos organometálicos: contienen un átomo metálico central (titanio, circonio, cobalto) rodeado de ligandos orgánicos:
 - a) Forman una monocapa sobre la superficie de los sustratos.
 - b) Suelen incrementar la durabilidad de las uniones adhesivas.
- 2) Incorporación de primers. Un primer es un compuesto que se adiciona a la superficie de un sustrato para aumentar la fuerza de unión a un adhesivo o para aumentar la durabilidad de la unión adhesiva.

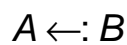
1.6.1.7 MODELO ÁCIDO-BASE

El modelo ácido-base justifica la adhesión en base a interacciones químicas de esa naturaleza. Las sustancias se clasifican como sigue según sus propiedades ácido-base:

- 1) **Ácido** = aceptor electrónico, donador de protones. Por ejemplo:
 - a) Moléculas con un halógeno como PVC (Poli Vinil Cloruru)
 - b) Sustancias inorgánicas como Sílice o Fe_2O_3 .
- 2) **Base** = donador electrónico, aceptador de protones. Por ejemplo:
 - a) Ésteres, cetonas, éteres.
 - b) Polímeros como poliestireno, policarbonatos o poliimidias.

- c) Sustancias inorgánicas como CaCO_3 o Al_2O_3 (alumina).
- 3) **Anfótero** = Puede actuar como donador o aceptor electrónico o de protones.
Por ejemplo:
 - a) Amidas, aminas, alcoholes.
 - b) Polímeros como poliamidas.
 - c) Sustancias inorgánicas : $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$

El modelo ácido-base establece que la adhesión se debe a interacciones ácido-base o donador (B) - aceptor (A) :



Las propiedades ácido-base se pueden cuantificar utilizando diferentes aproximaciones.

Este modelo fue uno de los más populares en los años 80. Actualmente se considera como una aproximación que permite justificar solamente la adhesión de algunas uniones realizadas con aleaciones de aluminio y adhesivos epoxi.

1.6.2 MODOS DE FALLO

Cuando se realiza las uniones adhesivas se pretende que estas no fallen de ninguna manera, pero algunas veces pueden fallar y ahora se conocerá acerca de los modos en los que pueden fallar las uniones adhesivas, de esta manera se busca que la rotura no sea en ningún caso adhesiva, es decir, que la separación nunca se produzca en la interfase sustrato-adhesivo.

Los modos de rotura adhesiva nunca son predecibles, puesto que la magnitud de la fuerza de adhesión, depende de un gran número de factores, rara vez son controlables en su totalidad. Por el contrario, sí se pueden conocer las características mecánicas del adhesivo y por tanto, se pueden predecir las cargas a la rotura en modo cohesivo bajo diferentes tipos de esfuerzos que se analizará posteriormente.

Podemos evaluar la adhesión de dos sustratos simplemente realizando un ensayo de rotura de la unión adhesiva. Así, el fallo de una unión adhesiva puede ocurrir según tres posibles modos:

- **Separación por cohesión:** cuando se produce la ruptura del adhesivo (Fig. 1.16 y tabla 1.1).

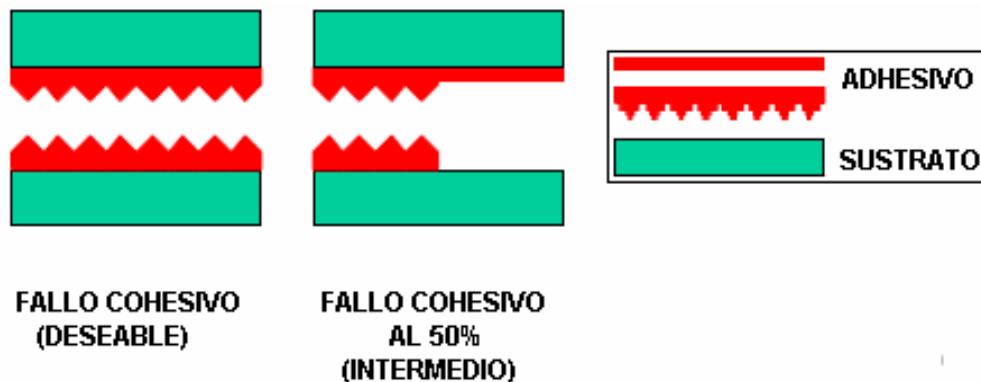


Fig. 1.16 Fallo por cohesión ¹

- **Separación por adhesión:** cuando la separación se produce en la interfase sustrato-adhesivo (Fig. 1.17 y tabla 1.1).

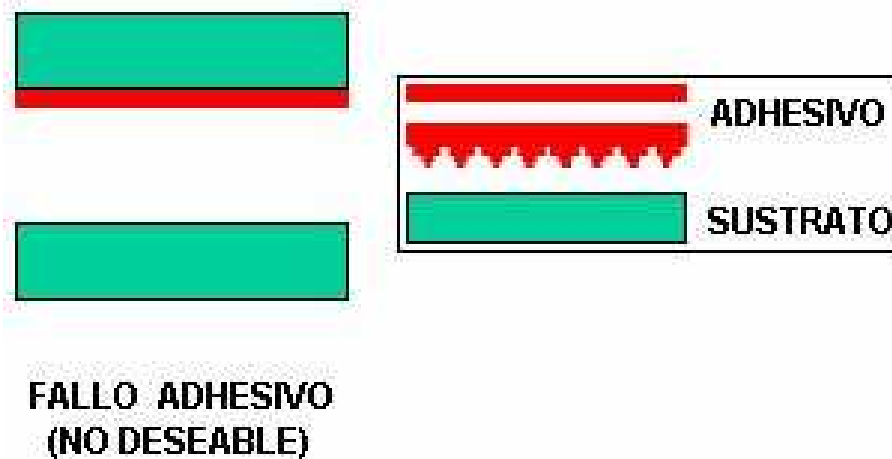


Fig. 1.17 Fallo por adhesión ¹

- **Ruptura de sustrato o mixto:** cuando el propio sustrato rompe antes que la unión adhesiva o que la interfase sustrato-adhesivo (Fig. 1.18).

Fig. 1.18 Fallo mixto ¹

La apariencia externa de un fallo de una unión sólo nos dice dónde está el punto débil de la unión como se observó anteriormente y no lo que causó el fallo. Para corregir el problema, es esencial hallar las causas y soluciones del fallo (Tabla 1.1).

TIPO DE FALLO	POSIBLES CAUSAS	METODOS PARA AUMENTAR LA RESISTENCIA
Fallo de adhesión	El punto débil de la unión es la capa límite entre la pieza unida y el adhesivo. También puede ser que el material es inadecuado para la unión o la superficie de unión estaba contaminada.	En los 2 casos la solución puede ser utilizar un pretratamiento adecuado de la superficie para aumentar la resistencia de la unión.
Fallo de cohesión	El adhesivo se somete a un esfuerzo excesivo por una acción externa por ejemplo puntas de tensión, temperatura, envejecimiento, etc.	La solución es diseñar cambios en la geometría de la unión o un adhesivo de un tipo adecuado para la aplicación.

Tabla 1.1. Tipo de fallo, causas y soluciones

En la tabla 1.2 se puede observar otras causas y soluciones para fallos de la unión adhesiva:

Posibles causas	Soluciones
Sustratos defectuosos	Comprobar tolerancias, holguras y materiales, y supervisar más atentamente.
Sustratos contaminados	Comprobar la idoneidad del pretratamiento y modificar en consecuencia por ejemplo agentes de limpieza, procesos de limpieza, almacenaje intermedio posterior, etc.
Ejecución de la unión defectuosa o incorrecta	Comprobar todos los parámetros del proceso, la ejecución de la unión, optimizar el tipo y la duración de la fijación, comprobar si se han cumplido todas las condiciones de curado.
Curado insuficiente del adhesivo	Comprobar las condiciones previas de curado por ejemplo: holgura, estanqueidad al aire, temperatura, humedad, etc. Observar los tiempos de curado de acuerdo con la hoja de datos.
Exceso de tensión mecánica o tensión desfavorable (pelado)	Agrandar la superficie de unión o modificar la geometría de aplicación de fuerzas de la junta. Comprobar la idoneidad del adhesivo para el tipo de esfuerzo tracción, cizallamiento, etc.
Exceso de tensión térmica	Seleccionar el adhesivo de mayor resistencia a la temperatura.
Corrosión o infiltración y destrucción del revestimiento adhesivo por medios líquidos y gaseosos	Proteger la holgura de la junta en las superficies de contacto con el medio utilizando un revestimiento adecuado o diseñar las piezas a unir de manera que no exista contacto con el medio.

Tabla 1.2. Causas y soluciones para modos de fallo

1.7 ACEROS AL CARBONO

Una vez que se conoce los tipos de fallos existentes es necesario conocer con que tipos de materiales se pueden adherir, entre estos están: los aceros, aceros al carbono, polímeros, vidrio, cerámicos, etc.

El Acero es básicamente una aleación o combinación de hierro y carbono (alrededor de 0,05% hasta menos de un 2%). Además de hierro, cuyo contenido puede oscilar entre 97,0 - 99,5%. Algunas veces otros elementos de aleación específica tales como el Cr (Cromo) o Ni (Níquel) se agregan con propósitos determinados.

Más del 90% de todos los aceros son aceros al carbono.

El aumento del contenido de carbono en el acero eleva su resistencia a la tracción, incrementa el índice de fragilidad en frío y hace que disminuya la tenacidad y la ductilidad. En cambio, el que posee menos cantidad de carbono es mal soldable y más resistente a los golpes.

Los aceros se clasifican según su contenido de carbono en los siguientes:

Aceros de bajo contenido de carbono contienen menos del 0.25% C

Aceros de medio contenido de carbono contiene 0.25 a 0.5 % de C

Aceros de alto contenido de carbono contiene 0.5 a 0.8 % de C

Nuestro estudio de uniones adhesivas se fundamenta en sustratos de aceros al carbono y en especial a los aceros de bajo contenido de carbono como lo es el SAE 1020.

Este acero se utiliza para piezas simples como pasadoras, engranajes, ejes, piezas troqueladas y estampadas, tornillería etc. Es utilizado por la industria en general.


NORMA				Tipo o grado	Características, técnicas y aplicaciones.	Tensión específica Mínima (KSI)	Composición química	
USA/ SAE/AISI	ASTM	UNS	Alemania W.St.N°	1020 CW	Aceros blandos de bajo carbono para piezas de maquinaria, pernos, pasadores de baja resistencia. Buena soldabilidad. No toma temple pero es cementable en piezas no exigidas.	60	C: 0,20 Mn: 0,50	
1020	A 108	61020	1151					
Código color								

Tabla 1.3 Composición, características y equivalencia en otras normas del acero
SAE 1020

CAPITULO II

PREPARACIÓN PARA EL PROCESO DE ADHESIÓN

Como anteriormente se revisó lo que es un adhesivo, sus ventajas y desventajas en este capítulo se hablará de que para una adecuada adherencia entre el sustrato y el adhesivo, se tiene que realizar una correcta limpieza superficial al sustrato para que exista una buena adhesión.

2.1 PREPARACIÓN DEL MATERIAL A ADHERIR

Es necesario un pretratamiento superficial correcto para lograr una unión óptima. La resistencia de la unión viene determinada, en gran medida, por la adhesión entre las superficies a unir y el adhesivo. Es importante comprender que las uniones adhesivas serán más fuertes cuanto más limpias y pretratadas estén las superficies.

Como se conoce la adhesión es un fenómeno de superficie. El espesor dentro del cual tienen lugar las interacciones entre adhesivo y sustrato (interfase adhesiva) tiene una magnitud del orden de las distancias intermoleculares. Es claro suponer que cualquier sustancia intermedia va a interferir en este fenómeno. Es más, cualquier capa exterior de composición o estructura diferente de la del seno del sustrato va a afectar en la calidad de cualquier adhesión (Fig. 2.1).

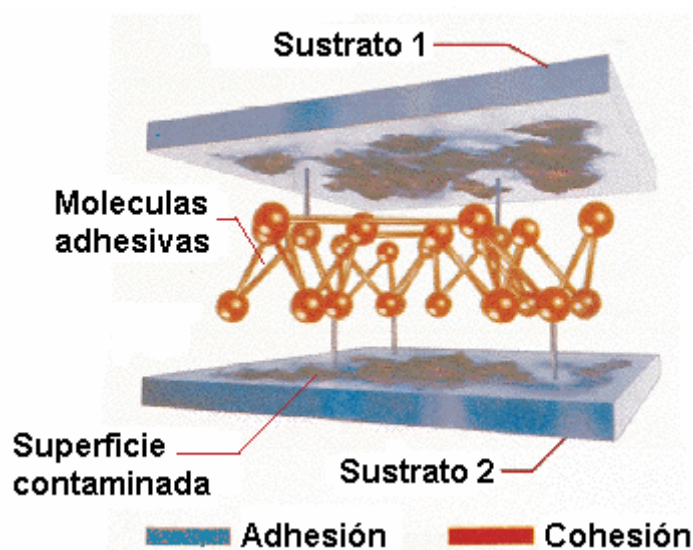


Fig. 2.1 La contaminación de las superficies de los sustratos reduce la adhesión.¹

La adhesión se mejora:

- Quitando películas superficiales no deseadas por desengrase o abrasión mecánica
- Construyendo una nueva superficie activa revistiéndola con imprimaciones
- Cambiando la actividad superficial por decapado, tratamiento corona, tratamiento con plasma a baja presión, etc.

Los tratamientos superficiales no son siempre imprescindibles. Sin embargo su aplicación permite optimizar la adhesión y, cuando menos, reproducir las características de la adhesión en grandes cadenas productivas preservando los niveles de calidad diseñados.

2.1.1 OBJETIVOS**Los objetivos de un tratamiento superficial son:**

1. Proporcionar a los adherentes una topografía superficial adecuada, alternando de este modo el perfil superficial e incrementando la superficie de contacto.
2. En cualquier caso se debe lograr que la adhesión sea debida a fuerzas de adhesión intrínsecas y no sólo al anclaje mecánico, para asegurar una buena adhesión inmediata y una larga durabilidad de las uniones. No obstante, es muy conveniente generar sobre el sustrato una topografía superficial que multiplique la superficie real de la interfase.
3. Eliminar o prevenir la formación de sustancias capaces de formar capas interfaciales que debiliten la cohesión. Ejemplos de capas interfaciales de débil cohesión son: láminas de óxidos débiles en adherentes metálicos, capas producidas por la migración de plastificantes a la superficie del adherente cuando este es un polímero. Otros contaminantes superficiales pueden ser: polvo, grasa, suciedad, etc.

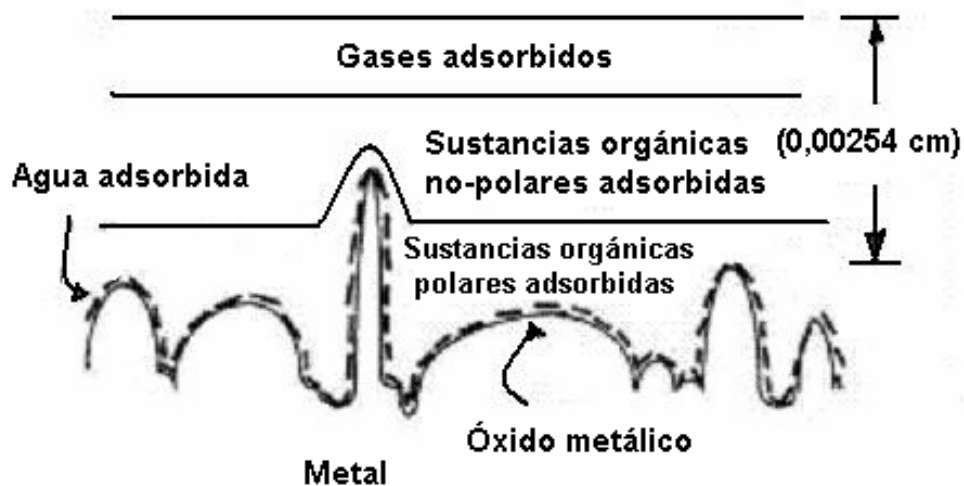


Fig.2.2 Diagrama que muestra la estructura de capas y la rugosidad que se puede esperar sobre la superficie de un metal sin preparar. La escala de la rugosidad superficial puede ser del orden de los micrones. ¹

En ocasiones el tratamiento superficial tiene como función facilitar la reticulación del adhesivo, actuando como un activador. En otras ocasiones se pretende proteger la superficie del sustrato, especialmente en el caso de metales.

Existe una enorme variedad de tratamientos superficiales que pueden ser empleados para adecuar cada superficie a un determinado proceso de adhesión.

Los factores que deben considerarse para decidir la preparación superficial idónea podrían resumirse entre los siguientes:

- Tamaño y forma geométrica de las superficies.
- Tipo de instrumentación disponible.
- Estabilidad de los materiales.
- Posibilidad de migraciones superficiales.

Los efectos que logra el tratamiento superficial son los siguientes:

- Eliminación de sustancias capaces de formar capas interfaciales de débil cohesión.
- Creación de grupos específicos en la superficie que favorezcan la adhesión intrínseca.
- Creación de una topografía superficial adecuada.

2.1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

Existen varios tipos de tratamientos superficiales, en la tabla 2.1 podemos ver las más utilizadas.

Sustrato	Métodos de pretratamiento					
	Desengrase	Abrasión mecánica	Decapado	Imprimaciones (según el adhesivo)	Corona	Plasma de baja presión
Metales	xxx	xxx	x	x		x
Vidrio	xxx	x	x	x	x	x
Cerámica	xxx		x	x	x	x
Plástico	xxx	xxx	x	x	xxx	xxx
Caucho	xxx	x		x	x	x
Madera	x	xxx		x		x

Tabla 2.1. Métodos de pretratamiento en diferentes sustratos.⁸

Simbología utilizada en esta tabla es: xxx = método preferido, x = método alternativo o adicional

Los métodos anteriormente descritos en la tabla 2.1 se describirán mas adelante.

2.1.2.1 LA LIMPIEZA SUPERFICIAL

La limpieza superficial consiste en la eliminación de la suciedad o contaminación superficial de un sustrato, sin provocar alteraciones físicas o químicas del mismo.

Existen tres procedimientos de limpieza con disolventes:

- Desengrasado en fase vapor.
- Tratamiento en baño de ultrasonidos.
- Frotado, inmersión o spray.

2.1.2.2 LIMPIEZA CON DISOLVENTES

2.1.2.2.1 EL DESENGRASADO EN FASE VAPOR

Mediante el desengrasado en fase vapor la superficie del sustrato se pone en contacto con vapor caliente de un disolvente capaz de solubilizar aceites, grasa, parafinas sólidas, etc. Se produce una acumulación de vapor caliente en la superficie fría de la pieza, hasta que el peso de la gota provoca su retorno al baño de disolvente (Fig. 2.3).

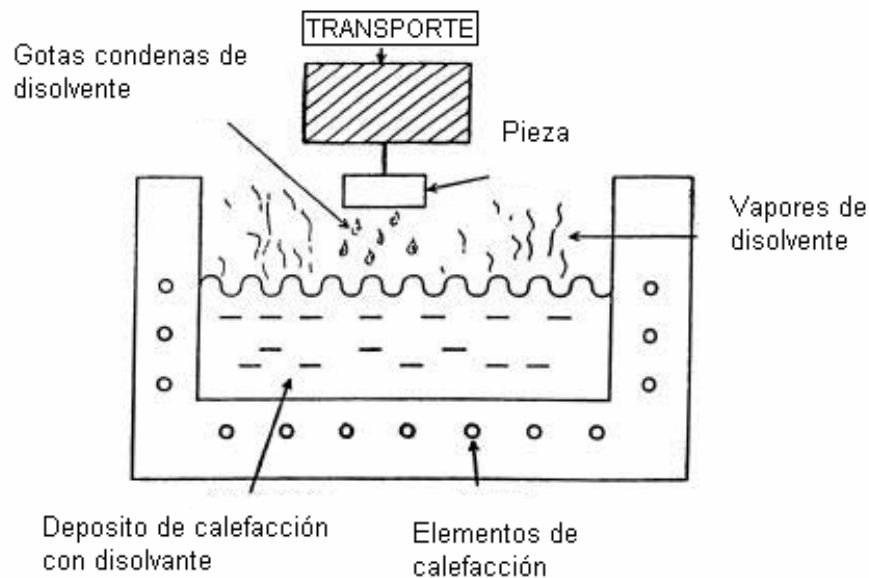


Fig.2.3 Desengrasado con disolvente orgánico en fase vapor.⁹

2.1.2.2.2 EL TRATAMIENTO EN BAÑO DE ULTRASONIDOS

Mediante el tratamiento en baño de ultrasonidos se obtienen limpiezas superficiales de alta calidad mediante irradiación de ondas ultrasónicas a través de un disolvente o mezcla de disolventes adecuada (Fig. 2.4).

Esto provoca una rápida agitación y cavitación que eliminan las partículas más inaccesibles.

La frecuencia de los ultrasonidos se halla en el rango de los 20000 a 50000 Hz.

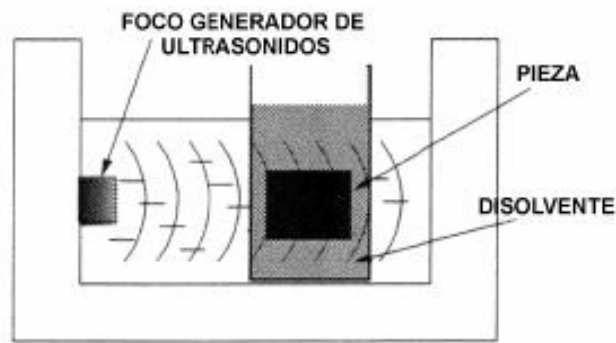


Fig.2.4 Sistema de limpieza en baño de ultrasonidos. ⁹

2.1.2.2.3 EL FROTADO, LA INMERSIÓN Y EL SPRAY

El Frotado, la inmersión y el spray son los métodos más simples y versátiles, pero a su vez, son más difíciles de controlar.

El frotado consiste en el paso con intensidad de un paño, brocha o papel de celulosa empapado en el disolvente (Fig. 2.5). La operación se debe repetir varias veces, hasta que no exista evidencia de contaminación en la superficie a limpiar.

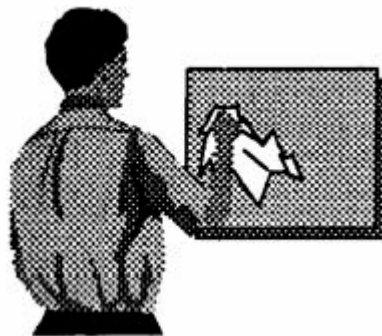


Fig.2.5 Limpieza de superficies mediante frotado.

La inmersión en baños de disolvente es útil para la limpieza de piezas pequeñas. En ocasiones precisa de la ayuda de brochas, frotado, etc.

El método por spray asegura que todo el disolvente que llegue a la superficie de la pieza quede limpio (Fig. 2.6). Sin embargo, es un método más costoso que los anteriores.



Fig.2.6 Limpieza con spray

2.1.2.3 LOS TRATAMIENTOS ABRASIVOS

Los tratamientos abrasivos son fundamentalmente lijados, cardados, chorro de arena, chorro de granalla, etc. El método de abrasión elegido y las variables experimentales dependerán del sustrato y del proceso de unión. Los efectos que producen sobre los sustratos son:

- Eliminación de los contaminantes superficiales.
- Creación de una superficie activa.
- Aumento del área de contacto con el adhesivo.
- Se retarda la fractura mecánica de la unión adhesiva.

Tras realizar un tratamiento abrasivo se debe proceder a una limpieza de los sustratos tratados para eliminar restos de polvo, contaminantes, etc. y llevar a cabo la adhesión antes de que aparezca la corrosión o la contaminación.

Chorro de arena.- consiste en la preparación de las superficies de acero para pintura proyectando granos abrasivos por soplo de aire comprimido, o por la fuerza centrífuga de un rotor.

Existen algunos tipos de chorro de arena como son:

- **Chorro (limpieza con abrasivos).**- la limpieza abrasiva utiliza pequeñas partículas propulsadas por una corriente de aire o un chorro de agua para incidir en la superficie, eliminando contaminantes a través de la fuerza de su impacto (Fig. 2.7).

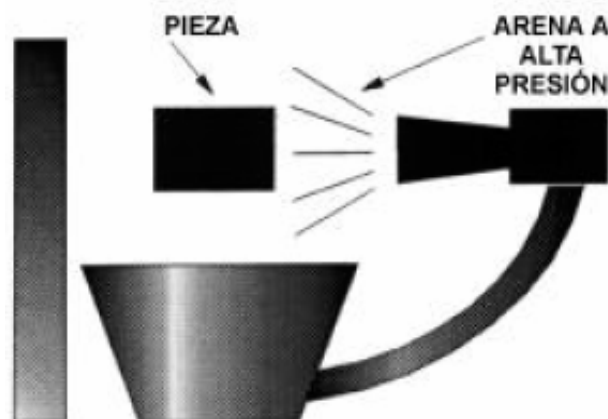


Fig.2.7 Tratamiento abrasivo mediante chorro de arena. ⁹

- **Limpieza por chorreado en seco.-** prácticamente todos los metales pueden ser limpiados al menos con uno de los procesos de chorreo abrasivo disponibles, pero el medio abrasivo tiene que ser seleccionado cuidadosamente para los metales blandos y frágiles y sus aleaciones, como el aluminio, el magnesio, el cobre, el cinc y el berilio.
- **Limpieza por chorreado con medio húmedo.-** el chorreado con medio húmedo difiere del chorreo seco en que las partículas abrasivas utilizadas suelen ser mucho más finas y están suspendidas en agua tratada químicamente, formando una especie de lodo.

El granallado.- es una buena manera de limpiar grandes superficies. La rugosidad superficial que se obtiene con este método da unos resultados de unión muy buenos, siempre que la granalla utilizada no sea demasiado gruesa.

Lijado.- se obtiene una rugosidad superficial igualmente buena. En este caso, es importante usar un tamaño de grano apropiado por ejemplo 300 a 600 para aluminio, 100 para acero).

Después del granallado, al igual que después del lijado o del cepillado, las piezas deberán desengrasarse a fin de eliminar todo rastro de suciedad residual. Las piezas muy sucias también deberán desengrasarse antes del tratamiento mecánico para evitar que las partículas de granalla o abrasivo se limiten a extender la suciedad. En la práctica, es muy sencillo usar los métodos de

pretratamiento mecánico y generalmente también proporcionan una fuerza de unión apropiada.

2.1.2.4 LOS TRATAMIENTOS QUÍMICOS

Los tratamientos químicos crean grupos polares en la superficie de los sustratos. Estos grupos son responsables de uniones de mayor durabilidad.

Los tratamientos químicos más usuales son:

- Acido crómico: empleado para plásticos.
- Disoluciones de sodio: para plásticos y poliolefinas fluoradas.
- Ciclación (con ácido sulfúrico): para cauchos.
- Halogenación: también para cauchos.

Hay otro grupo de tratamientos abrasivos químicos los decapantes, que no modifican químicamente la superficie pero que eliminan las capas débiles, por ejemplo de óxido. Se emplean habitualmente en metales.

Decapado.- para decapar superficies se utilizan productos químicos relativamente agresivos. En función del sustrato, se utilizan productos muy ácidos o alcalinos. El decapado comporta un cambio de la superficie del sustrato porque se añaden grupos reactivos y pueden formarse cavidades de tipo radicular que dan lugar al enclavamiento mecánico del adhesivo. Los efectos de este tratamiento varían en función del sustrato. Su uso industrial es limitado, porque resulta cada vez más caro realizar la manipulación y el vertido de las soluciones decapantes.

Es necesario conocer los ácidos y bases mas utilizados en el decapado, así como su concentración y los diferentes tipos de materiales, etc. a los que se aplican (Tabla 2.2)

TIPO Ácido/base	CONC. INICIAL	DISOLUCIÓN FINAL MAS HABITUAL	TEMPERATURA DE TRABAJO T °C	TIPO DE METAL A DECAPAR
HCl	33%	18%	20-30/80	Hierro y acero no aleado
H ₂ SO ₄	98%	5-35%	50-80	Hierro, acero no aleado, cobre, aluminio
HNO ₃	60%	5-30%	50(?)	Cobre y acero inoxidable
HF	70%	3-10%	50(?)	Acero inoxidable (como mezcla)

Tabla 2.2 Ácidos y bases más importantes en el decapado. ¹⁰

2.1.2.5 LOS PRIMERS (IMPRIMANTES)

Los primers o imprimaciones son sustancias químicamente reactivas en un disolvente, que se emplean como intermedio entre el adhesivo y el sustrato. Tienen muy diversas funciones, se aplica con brocha sobre la superficie del sustrato. Después de evaporarse el disolvente portador, la especie activa permanece. En función del tipo de imprimación, la superficie puede quedar inmediatamente lista para la unión. Las imprimaciones superficiales mejoran generalmente la capacidad de unión del sustrato, actuando como puente químico entre éste y el adhesivo. Así, en superficies de alta energía superficial por ejemplo se emplean para incrementar la resistencia de las uniones adhesivas a la fatiga, la temperatura y la humedad. En algunas ocasiones protegen la superficie del sustrato frente a agentes físicos o químicos, aunque con ello también se dota a tales sustratos de propiedades antiadherentes.

Pueden producir los siguientes efectos:

1. Protección de la superficie del sustrato.
2. Mejora de la interacción entre el adhesivo y el sustrato.
 - a) Incrementa la mojabilidad de los adhesivos muy viscosos.

- b) Permite la adhesión de sustratos difíciles de unir.
 - c) Crear una capa de mayor energía superficial.
 - d) Aumentar la vida de servicio de la unión adhesiva.
 - e) Mejora la adhesión de los adhesivos.
3. Mejora las propiedades cohesivas de sustratos inconsistentes.
 4. Flexibilización del tratamiento superficial.
 5. Generación de características particulares:
 - a) Reducir la penetración de la humedad.
 - b) Eliminar rugosidad superficial.
 6. Absorción e inclusión de la suciedad superficial inherente a ciertos sustratos.
 7. Protección de la interfase adhesiva frente a la radiación UV.

Existen ciertas imprimaciones que se pueden emplear para activar la superficie de polímeros difíciles de adherir. Todos los polímeros tienen en común una marcada apolaridad que dificulta el mojado del adhesivo y, como consecuencia, sólo son capaces de generar enlaces intermoleculares de baja energía. Estas imprimaciones se recomiendan para adherir poliolefinas, politetrafluoroetileno y siliconas, entre otros. Se diseñan para su uso con cianoacrilatos debido al mecanismo de curado y a la elevada polaridad de estos adhesivos.

2.1.2.6 LOS TRATAMIENTOS DE LLAMA

Se basan en la oxidación superficial debida a una reacción que se inicia por radicales libres creados a alta temperatura (2000°C). De manera muy esquemática se pasan los polímeros por varios quemadores durante menos de 1 segundo. Este método se emplea fundamentalmente para la adhesión de poliolefinas. Los mejores resultados se logran con un exceso de oxígeno en la mezcla de combustión (Fig. 2.8).

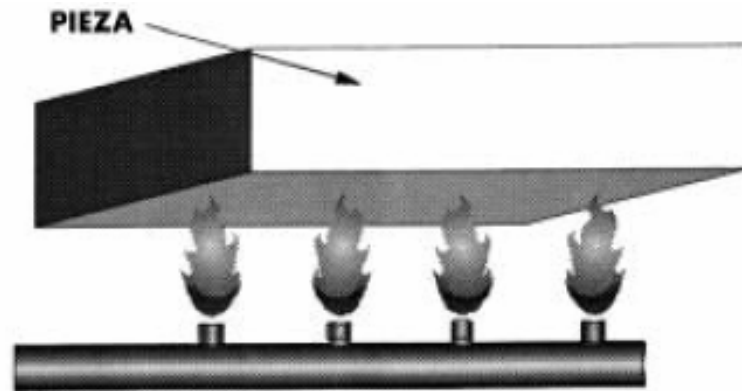


Fig.2.8: Tratamiento de llama. ⁹

2.1.2.7 EL PLASMA DE BAJA PRESIÓN

El tratamiento mediante plasma de baja presión se comenzó a utilizar con profusión desde 1960. El plasma puede ser generado en el aire (descarga corona) o a presión reducida (“glow discharge”).

En lugar de un gas (aire, amoníaco, argón, nitrógeno, oxígeno, etc.) se puede emplear un polímero, produciendo un efecto que se conoce con el nombre de “grafting”. Mediante este método se pueden lograr grosores controlados y reproducibles que actúan como primers.

Fundamentalmente los efectos que produce el tratamiento con plasma sobre los sustratos son los siguientes:

- Limpieza superficial.
- Degradación de las zonas superficiales.
- Reticulación de los polímeros en la superficie.
- Oxidación superficial.
- Polimerización y “grafting” en la superficie del sustrato.
- Implantación iónica.

2.1.2.8 LA DESCARGA EN CORONA

La técnica de descarga en corona consiste en hacer pasar la película de polímero sobre un electrodo metálico recubierto de un material dieléctrico al que se le hace llegar un alto voltaje procedente de un generador de alta frecuencia (10-20 Khz.) (Fig. 2.9). Normalmente el voltaje se incrementa en ciclos hasta que se ioniza el

gas, generándose un plasma a presión atmosférica que se conoce como “descarga corona”.

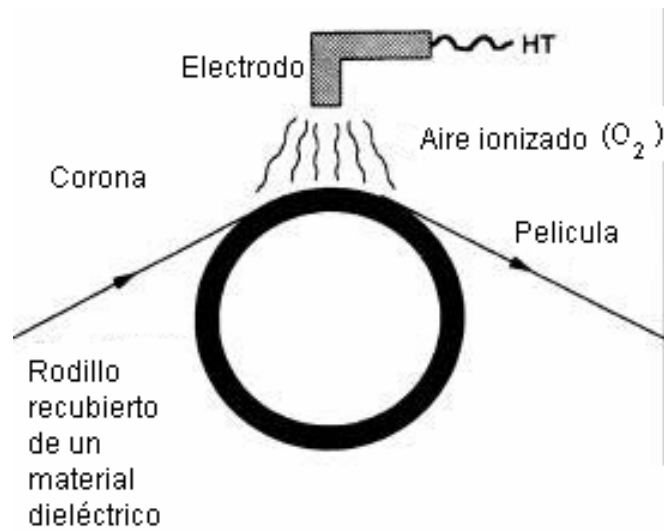


Fig.2.9: Tratamiento de descarga en corona.⁹

Se trata de un tratamiento muy efectivo para las poliolefinas que crea en la superficie grupos carbonilo promotores de la adhesión y eleva la energía superficial del polímero.

CAPITULO III

RESINAS EPOXICAS

3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS ADHESIVOS

En este capítulo se describirán los tipos de adhesivos que se pueden usar para las diferentes aplicaciones que hasta el momento se tienen a nivel industrial.

Existen muchos tipos de adhesivos disponibles en la industria, por lo que; estos pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Por su forma de aplicación.
- Por su uso.
- Por su origen natural o sintético de los materiales base.
- Por el método de curado.
- Por el mecanismo de formación de la junta adhesiva.

Los principales ingredientes de la mayor parte de las formulaciones de adhesivo son:

- Un sistema de resina sintética.
- Un elastómero o flexibilizador.
- Materiales inorgánicos.

3.1.1 CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A SU FORMA DE APLICACIÓN

En base a este criterio, los adhesivos están agrupados en tres tipos que son: termofijos, termoplásticos y elastómeros

Adhesivos termofijos, las resinas termofijas son los materiales más importantes en que se basan las formulaciones de adhesivos para metal. Sus propiedades pueden alterarse para aplicaciones específicas mediante la adición de agentes modificadores y rellenos. Los adhesivos termofijos se endurecen o curan mediante reacciones químicas que proceden por la adición de un endurecedor o catalizador. El calor, la presión, la radiación u otro tipo de energía pueden acelerar la velocidad de curado. Una vez curados, estos adhesivos no pueden fundirse

otra vez, y una unión rota no puede pegarse calentándola. Dependiendo de su composición, los adhesivos termofijos pueden ablandarse o debilitarse a altas temperaturas y, finalmente, descomponerse. Las resinas o adhesivos termofijos también se conocen como adhesivos estructurales.

Adhesivos termoplásticos, las resinas termoplásticas son compuestos con moléculas de cadena larga que se ablandan al calentarse y se endurecen al enfriarse, por lo que tienen poca resistencia al calor, a la fluencia, los disolventes y los esfuerzos inducidos por cargas hacen que en general las resinas termoplásticas no sean apropiadas como adhesivos estructurales, lo que puede ser una ventaja en aplicaciones de sellado. Tienen resistencia al pelado entre buena y moderada. No sufren cambios químicos al calentarse, de modo que el ciclo puede repetirse. Sin embargo, se oxidan y descomponen a temperaturas excesivas, algunas resinas termoplásticas se combinan con resinas termofijas como las epóxicas y fenólicas para mejorar su flexibilidad, resistencia al pelado y resistencia al impacto.

Estos adhesivos pueden subclasificarse de la siguiente manera:

- Emulsiones vinílicas: acetato de polivinilo (PVAC), policloruro de vinilo (PVC), Acetato de vinilo y etileno (EVA), etc.
 - De un solo componente
 - De dos componentes
- Adhesivos termofusibles (hot - melt)

El término termofusible define su forma de aplicación. Se suministran en forma de resina sólida, que se vuelven líquidas con la aplicación del calor y que se vuelven a endurecer cuando se enfrían.
- Adhesivos de caucho natural o sintético
- Adhesivos de poliuretano
- Adhesivos epoxídicos
 - De un solo componente
 - De varios componentes

Adhesivos elastómeros, vulcanizados o con enlaces cruzados, dan mejores valores para la resiliencia, presentan menos fluencia y tienen una resistencia al calor superior a los termoplásticos; por otro lado, son superiores a todos los restantes en resistencia a la flexión. Los flexibilizadores o elastómeros se añaden

a las formulaciones de adhesivos para hacerlos más elásticos, mejorar su resistencia al pelado y aumentar su resistencia a los choques y las vibraciones.

3.1.2 POR SU USO INDUSTRIAL

Estos adhesivos pueden ser: estructurales, de sostén y selladores.

Adhesivos estructurales, es aquel que usado en combinación con un material estructural, trabaja de modo que la junta no falle cuando el material se encuentre a tensiones de hasta su límite elástico, estando expuesto a su entorno de servicio. El objetivo de estos adhesivos estructurales es crear una unión tan fuerte como la soldadura tradicional. En general se trata de adhesivos formados por dos polímeros, uno termoestable (modificado o no) y otro termoplástico incluyendo ciertos elastómeros. En la tabla 3.1 se muestra un cuadro comparativo de ventajas y desventajas para los 3 grupos principales de adhesivos estructurales.

SISTEMAS ADHESIVOS ESTRUCTURALES VALORACIÓN COMPARATIVA		
SISTEMA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
EPOXI	Alta adhesión final Durabilidad Cualquier espesor Contracción del 2%	Preparación de superficies Vida de la mezcla Ciclos de curado (especialmente los monocomponentes) Dosificación y mezcla de los componentes
POLIURETANOS	Flexibilidad Mejor para plásticos	Menor adhesión final que los epoxis. Peor para cristal y metales
ACRÍLICOS	Buena adhesión final Fácil aplicación Curado rápido Preparación de superficies	Espesor de la capa. Contracción del 7%. Durabilidad

Tabla 3.1. Comparación entre adhesivos estructurales¹

Los adhesivos estructurales más utilizados son los de base epoxídica debido a las elevadas propiedades mecánicas que proporciona para la mayoría de sustratos, preparados adecuadamente. Este tipo de adhesivos posee un bajo nivel de acortamiento durante el curado, presenta tensiones residuales bajas y dado que emite pequeñas cantidades de volátiles durante el proceso de curado, requieren solamente bajas presiones. Además, poseen también elevadas propiedades de rigidez y resistencia. Sin embargo, la resina epoxi sola, sin ningún otro componente, es demasiado frágil para aplicaciones estructurales. Por ello normalmente se encuentra mezclada con algún polímero más dúctil, persiguiendo una solución final más tenaz.

Adhesivos de sostén: son aquellos que deben soportar solamente el peso de los adherentes.

Adhesivos selladores: son aquellos que se utilizan para prevenir el paso de fluidos a través de una junta.

3.1.3 POR SU ORIGEN NATURAL O SINTÉTICO DE LOS MATERIALES BASE.

Estos adhesivos pueden ser: adhesivos animales, adhesivos vegetales y adhesivos orgánicos sintéticos

Adhesivos animales, son adhesivos preparados a partir del colágeno de los mamíferos, proteína principal del cuero, huesos y tendones. La composición química del colágeno obtenido a partir de una gran variedad de mamíferos varía muy poco. Estos pueden ser:

- Cola de caseína.- obtenida a partir de caseína (proteína procedente de la leche).
- Colas de pescado.- estos se obtienen por la extracción de las pieles de pescado.
- Cola de albúmina de sangre.- preparada a partir de sangre fresca de matadero o de polvo seco de sangre soluble y agua.

Adhesivos vegetales, son aquellos solubles o dispersables en agua que son producidos o extraídos de materias primas naturales por procesos relativamente simples. Los almidones que constituyen la principal fuente de adhesivos pueden

extraerse de raíces, tubérculos y médulas de las plantas. Las principales fuentes de almidón son: maíz, trigo, patatas, boniatos (tubérculos) y arroz. Los adhesivos proteínicos de origen vegetal, como la cola de soja, tienen propiedades similares a los adhesivos de origen animal. Estos pueden ser:

- Cola de soja o soya.- obtenida a partir de harina de soja o soya en solución alcalina, tiene naturaleza proteínica.
- Dextrinas.- obtenida por hidrólisis a partir de almidón.
- Látex.- nombre que se daba al producto natural obtenida del árbol del caucho, tanto naturales como sintéticos.
- Goma arábiga.- obtenida por la exudación de tronco y ramas de árboles de acacia.

Adhesivos orgánicos sintéticos, son los obtenidos industrialmente mediante síntesis orgánica. Los termoestables como los adhesivos de urea-formaldehído, de fenol-formaldehído o las resinas epoxi. Los termoplásticos utilizados como adhesivos termofusibles: polietileno, poliamidas y poliésteres o en solución: PVC. Los elastómeros como el estireno-butadieno o la silicona.

Estos adhesivos pueden subclasificarse de la siguiente manera:

- **Adhesivos en solución**, son aquellos cuyo vehículo portador de la acción adhesiva es un disolvente orgánico o una mezcla de ellos. Los disolventes utilizados son hidrocarburos alifáticos y aromáticos, hidrocarburos clorados, cetonas, ésteres y alcoholes. La resina base puede ser de tipo neopreno, copolímero estireno-butadieno, caucho sintético, o bien fenólicas. La mezcla forma una solución homogénea.
- **Adhesivos en dispersión o emulsión**, llevan agua como vehículo portador, formándose una dispersión o mezcla no homogénea, ya que la mayoría de los polímeros sintéticos conocidos son insolubles en ella. Aunque la película de unión puede empezar a formarse a temperatura ambiente, la mayoría de los adhesivos sintéticos en fase acuosa necesita una temperatura algo elevada para la eliminación de agua y detergentes, pudiendo ésta alcanzar los 100°C. En todo caso, a temperaturas menores se necesita un mayor intervalo de tiempo para el curado y endurecimiento.
- **Adhesivos en fusión (hot-melts)**, están formados por una o más resinas

base elastomérica o poliolefínica y plastificantes que reducen la temperatura y el tiempo necesarios para la termofusión y facilitan su aplicación sobre superficies irregulares de difícil preparación y acondicionamiento previos. Para una adecuada formación y endurecimiento de la junta de unión, es necesaria una diferencia de temperatura suficiente entre el adhesivo en fusión y las superficies a unir. Estos adhesivos son adecuados para superficies porosas y agrietadas cuya fragilidad impide operaciones de limpieza, desengrase, decapado químico, lijado o esmerilado como acondicionamientos previos. La unión resultante suele ser muy estable a la acción del calor y la luz, presenta propiedades notables de dureza y tenacidad, resistencia frente al agua, pero puede ser atacada por los disolventes orgánicos.

3.1.4 POR EL MÉTODO DE CURADO

Estos métodos pueden ser:

- Por solidificación (selladores base cera o parafina)
- Por evaporación de solvente (cementos base goma y las colas blancas)
- Por reacción química:

La mayoría de estos adhesivos son polímeros reactivos que pasan del estado líquido al sólido mediante diversas reacciones de polimerización esto se verá de manera detallada mas adelante. Estos se pueden clasificar en:

1. REACCIÓN ANAEROBICA
2. EXPOSICIÓN A LA LUZ ULTRAVIOLETA
3. REACCIÓN ANIONICA
4. SISTEMAS DE ACTIVACIÓN
5. CURADO HÚMEDO

3.1.5 POR EL MECANISMO DE FORMACIÓN DE LA JUNTA ADHESIVA.

La clasificaciones más empleadas para adhesivos se basa en el mecanismo de formación de la junta adhesiva (Fig 3.1). En esta clasificación, se pueden distinguir dos grandes grupos de adhesivos.

- Adhesivos prepolimerizados
- Adhesivos reactivos

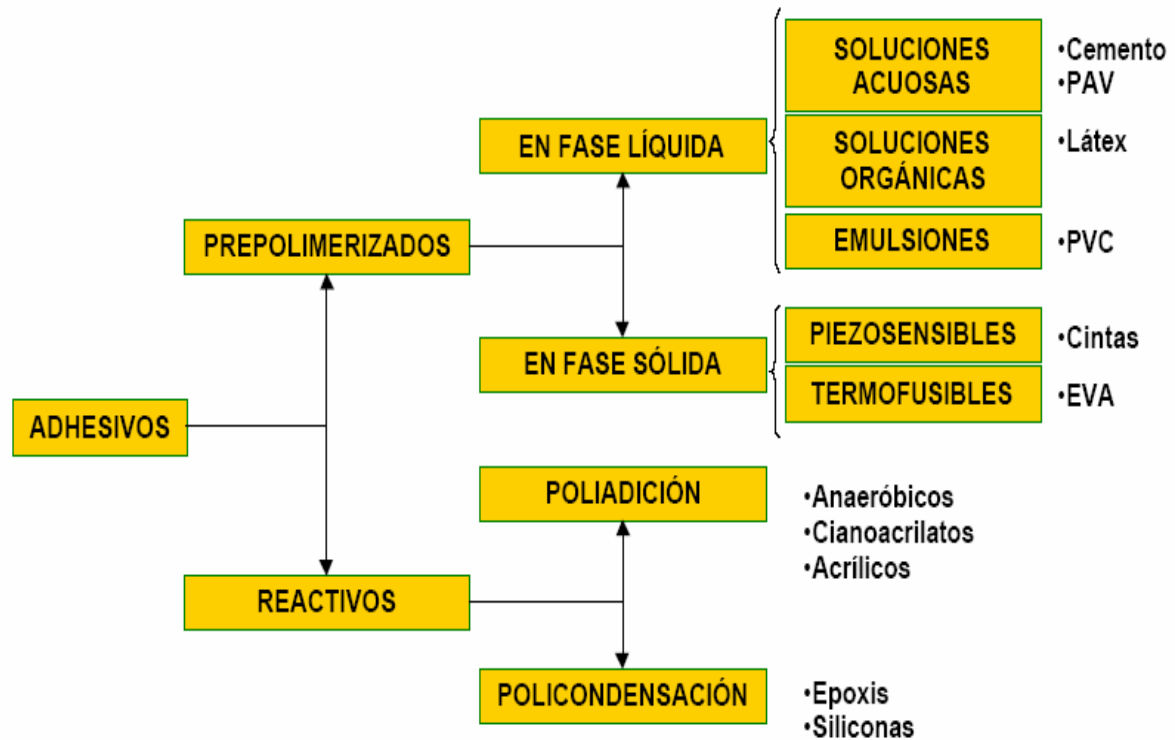


Fig. 3.1. Clasificación de los adhesivos por el mecanismo de formación de la junta adhesiva

ADHESIVOS PREPOLIMERIZADOS, son aquéllos donde el polímero ya existe antes de ser aplicado el adhesivo sobre la unión. Estos adhesivos pueden subclasificarse de la siguiente manera:

En fase líquida:

Soluciones acuosas de origen natural:

- Origen mineral: cementos, colas
- Origen animal: caseína
- Origen vegetal: celulosa, almidón, colofonia

Soluciones acuosas de origen sintético:

- PVP (Polivinilpirrolidona)
- PEG (Polietilenglicol)
- PAV (Polialcohol vinílico)

Soluciones orgánicas: suelen ser lineales, pueden adquirir propiedades elásticas tras la vulcanización, la cual en ocasiones tiene lugar con el oxígeno del aire.

- Caucho natural
- Polienos

- Polidienos
- Elastómeros termoplásticos (SBR)

Emulsiones o líquidas: tienden a sustituir a los anteriores por los problemas derivados del uso de disolventes en su formulación.

- PVC
- Polietileno
- Poliacetato de vinilo
- Poliacrílicos (acrílicos y metacrílicos)

En fase sólida:

Adhesivos sensibles a la presión o piezosensibles: son adhesivos con una reología especial que les permite deformarse y mojar los sustratos en estado sólido.

- Adhesivos de contacto
- Películas y cintas autoadhesivas
- Adhesivos reposicionables
- Adhesivos reactivables por calor

Adhesivos termofusibles o Hot Melts: son adhesivos que humectan los sustratos cuando se calientan por encima de la temperatura de reblandecimiento del termoplástico y al enfriar adquieren la consistencia de un plástico.

- Polietileno
- EVA
- Poliamidas
- Poliésteres

ADHESIVOS REACTIVOS, se caracterizan porque el adhesivo en estado líquido, viscoso, gel, etc. se halla constituido por monómeros o cadenas oligómeras que polimerizan o se entrecruzan durante el proceso de polimerización que ocurre cuando tal adhesivo se ubica entre los sustratos a unir, es decir se realiza el curado después de su aplicación. Estos adhesivos pueden subclasificarse de la siguiente manera:

Mediante poliadición:

- Anaeróbicos
- Acrílicos
- Cianoacrilatos
- Siliconas de poliadición
- Poliésteres
- Polisulfuros

Mediante policondensación:

- Poliuretanos
- Epoxis
- Siliconas de policondensación
- Fenólicos

Luego de conocer la amplia gama de adhesivos existentes en la industria se conocerá más a fondo sobre los adhesivos epóxicos.

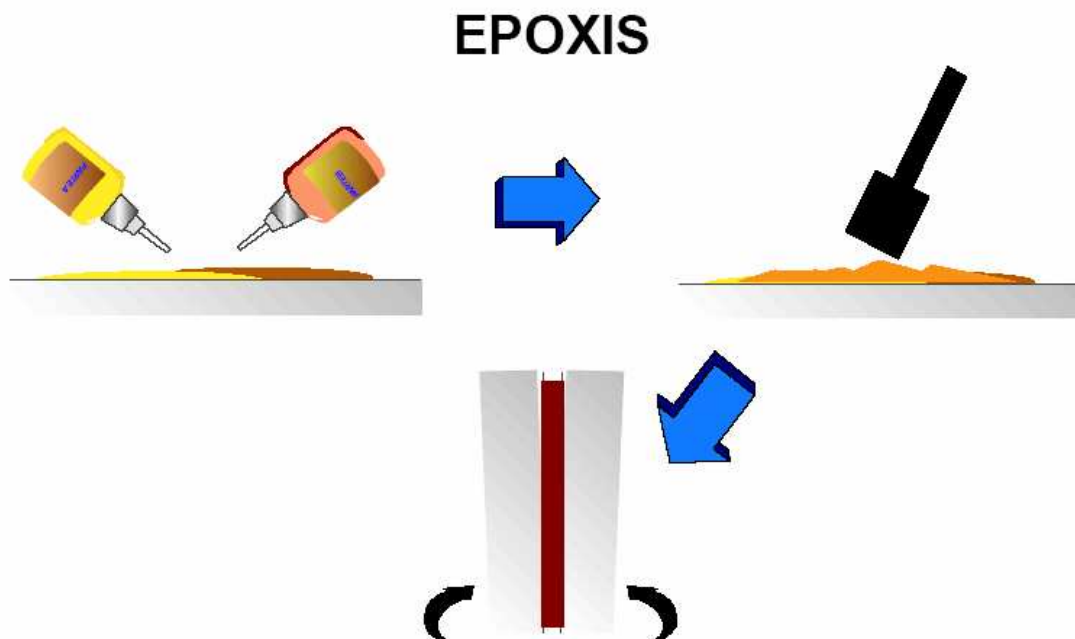
3.2 LOS EPOXIS

Fig. 3.2 Proceso de unión con los Epoxis ¹

Las resinas epoxídicas son un tipo de adhesivos llamados estructurales o de ingeniería. Una Resina Epoxi es un polímero termoestable que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador o "endurecedor" que va desde la temperatura ambiente hasta altas temperaturas, esto quiere decir que son normalmente bicomponentes en forma de resina más activador (Fig. 3.2).

También pueden ser monocomponentes, estos ya vienen mezclados previamente, se curan a alta temperatura. Este tipo de resinas se caracterizan por el grupo epoxi, que abren el anillo epoxi y permite la reticulación

Las resinas epoxi más frecuentes son producto de una reacción entre epiclorohidrina y bisfenol-A (obtiene de fenol y acetona). Una vez premezclados la polimerización comienza lentamente, deteniendo la reacción cuando se alcance el peso molecular deseado, por lo que deben ser aplicados sobre las piezas a unir y mantener los sustratos en posición hasta alcanzar la resistencia a la manipulación.

El curado de un adhesivo epoxídico se realiza con calor, este será más resistente que cuando se cura a temperatura ambiente. El pegamento es fuerte, tienen una buena resistencia al calor y a la humedad. La resina resultante puede ser líquida, viscosa o sólida dependiendo del punto en el que se pare la reacción. Para su empleo generalmente se reactiva con una poliamina o una poliamida. Las resinas epoxy dan buena adherencia con metales, vidrio, cerámica, madera, cerámicos, composites, cauchos, hormigón y muchos plásticos, por lo que frecuentemente se emplean en otras industrias donde se hace necesario unir materiales incompatibles.

3.2.1 GENERALIDADES

El material de partida más empleado era el bisfenol-A que reacciona con la epiclorhidrina para generar un líquido de peso molecular moderado compuesto por moléculas lineales terminadas con grupos epoxi. El poder adhesivo de la resina se debe a los grupos hidroxilo, puesto que los grupos epoxi desaparecen durante el curado.

Los epoxis se caracterizan por su gran capacidad de relleno de holgura. Sin embargo, cuando hablamos de aplicaciones estructurales, el rendimiento óptimo de los epoxis, al igual que para el resto de adhesivos rígidos, se obtiene cuando

las holguras rondan los 0.1mm. La sensibilidad de la resistencia de estos adhesivos a la holgura es ampliamente conocida por los ingenieros aeronáuticos, que emplean normalmente adhesivos en películas que mantienen el espesor óptimo de adhesivo constante. En el pasado la mayoría de los epoxis se formulaban como bicomponentes que debían ser mezclados inmediatamente antes de ser empleados y tenían una vida de mezcla limitada. Sin embargo, en la actualidad existen adhesivos epóxicos monocomponentes con un agente endurecedor latente que se libera únicamente por reacción a alta temperatura.

3.2.2 COMPOSICIÓN DE LOS EPOXIS

Después de hacer una breve recopilación de los epoxis, es necesario conocer ahora sobre su composición

El término de epoxy se define a un anillo con un átomo de oxígeno enlazado a dos átomos de carbón donde los átomos de carbón se ligan ya juntos.

Una resina de epoxy contiene tal estructura y es capaz de ser convertida en una forma del thermoset (es la forma líquida de las curaciones de la resina de epoxy)

Las resinas de epoxy forman las estructuras firmemente reticuladas del polímero caracterizadas por la dureza, la adherencia fuerte, y la contracción baja, usada especialmente en las capas y los pegamentos superficiales.

Los epoxis contienen los siguientes componentes:

- Monómeros, en base a epoxis
- Una resina baja
- Agentes de curado, en base a aminas, mercaptanos, imidazolas, anhídridos, etc. Las nuevas formulaciones de epoxis catiónicos de curado UV, emplean especies capaces de generar cationes al ser expuestas a la radiación UV.
- Cargas como aluminio, sílice, etc. Empleadas para minimizar los fenómenos de contracción y expansión del adhesivo.
- Espesantes
- Pigmentos
- Resinas diluyentes de bajo peso molecular para reducir la viscosidad, mejorar la tenacidad o la flexibilidad, la capacidad de mojado, la resistencia térmica, etc.
- Aceleradores del curado a temperatura ambiente, como fenoles o derivados

fenólicos.

- Endurecedor
- Flexibilizadores
- Diluyentes

Para entrar a la comercialización, estas resinas se esterifican con ácidos grasos de aceites secantes (linaza y soya), y luego se disuelven en hidrocarburos alifáticos o aromáticos.

Reacción General				
$ \begin{array}{c} \text{O} \\ \diagup \quad \diagdown \\ -\text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 + \text{HXR} - \longrightarrow -\text{CH}_2 - \underset{\text{H}}{\overset{\text{O}}{\text{CH}}} - \text{CH}_2 - \text{X} - \text{R} \end{array} $				
TIPO DE AGENTE DE CURADO	CURADO	ENLACE -X- FORMADO	PROPIEDADES COMPARATIVAS	
Mercaptano	Temperatura ambiente o inferior	Sulfuro	Estabilidad térmica y química pobres	
Amina alifática	Temperatura ambiente o inferior	Aminas		
Amina aromática	Curado por calor > 80°C	Amina + éter		
Imidazola		Curado mas calor mas catalizador		Éter
Hidroxilo alcohólico Hidroxilo fenólico				Éter
Ácido orgánico / Anhídrido ácido			Curado mas lentos y menos exotérmicos, mejores propiedades eléctricas	
Dicy o melamina		Éter + amina	Altamente exotérmicos; buena tenacidad	

Tabla. 3.2 Características de los distintos sistemas adhesivos epoxi.

3.2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS ADHESIVOS EPÓXICOS

Luego de conocer su composición se verá ahora la amplia gama de adhesivos epóxicos existentes.

- **Adhesivos Sintéticos de Termoendurecimiento o de Estabilización Térmica**

Conocidos comúnmente como **adhesivos epóxicos**, se emplean más comúnmente en juntas que requieren una alta resistencia e integridad estructural. Hay muchas modificaciones disponibles de adhesivos epóxicos. Esta abundancia en variaciones resulta parcialmente de la amplia gama de problemas que encuentra un diseñador para adaptar la unión adhesiva a unas aplicaciones reales. Muchos fabricantes de adhesivos formulan productos hechos sobre pedido, con especificaciones especiales para aplicaciones particulares.

Los adhesivos epóxicos son de estabilización térmica, es decir, experimentan una transformación química al ser curados, y no hay medio alguno por el cual puedan regresar a su estado original. El curado se efectúa mediante la adición de endurecedores a la resina básica. Los endurecedores (o activadores) presentes en los sistemas de un componente se activan por exposición a temperaturas elevadas, generalmente de 121 a 260°C (250 a 500°F), durante un periodo específico. En los adhesivos epóxicos, en los que el curado se efectúa a la temperatura ambiente, el componente endurecedor se agrega precisamente antes de hacer la aplicación. Debe mencionarse, sin embargo, que algunos adhesivos epóxicos de varios componentes requieren ser curados a temperaturas elevadas. Para examinar los diversos atributos de los adhesivos epóxicos, se les clasificará, para referencia futura, como sigue:

- Resinas Epóxicas
- Epoxis tenaces
- De un componente:
 - De alta resistencia, flexibles
 - De alta resistencia, de semirrejilla, mejor servicio a temperatura elevada y mejor resistencia química
- De varios componentes

- **Resinas Epóxicas**

Las resinas epóxicas combinan las propiedades de excelente acción humectante, bajo encogimiento, elevada resistencia a la tensión, tenacidad y

baja reactividad química para producir adhesivos notables por su resistencia mecánica y versatilidad. A diferencia de los adhesivos fenólicos, los epóxicos no forman productos volátiles durante el curado. Sólo se requiere baja presión para mantener un contacto íntimo entre los adherendos durante el pegado.

Los adhesivos epóxicos pueden obtenerse como líquidos de flujo libre, películas, polvos, barras, gránulos y mastiques. Esta variedad de formas ofrece muchas opciones en la elección de técnicas y equipos de aplicación. Pueden agregarse rellenos o plastificantes para minimizar los esfuerzos que pueden aparecer cuando el adhesivo y los adherendos tienen diferentes coeficientes de expansión térmica.

El amplio surtido de endurecedores disponible para las formulaciones epóxicas ofrece ciclos de curado que van desde unos cuantos segundos a temperaturas elevadas; hasta varios minutos u horas a temperatura ambiente. Los adhesivos epóxicos no modificados tienen resistencias al corte y a las tensiones elevadas, pero tienden a ser quebradizos y por tanto presentan un rendimiento deficiente ante el hendimiento y el pelado. Es posible lograr una buena resistencia al pelado flexibilizando la resina epóxica, pero esto reduce el módulo del adhesivo.

- **Los Epoxis Tenaces**

Los epoxis tenaces incorporan en su formulación un caucho, generalmente nitrilo, capaz de precipitar de forma microdispersa cuando la resina endurece. Con la adición de esta fase de caucho se mejoran las características del adhesivo curado frente a esfuerzos de pelado, sobre todo a bajas temperaturas que los otros epoxis.

La composición de los epoxis tenaces tiene la misma composición que los epoxis normales, pero con la adición de ciertos modificadores que mejoran el rendimiento mecánico del adhesivo. Los aditivos se hallan en el adhesivo en forma de dispersión. Son normalmente partículas de caucho.

El Mecanismo de curado de los epoxis tenaces que se comercializan en forma de sistemas bicomponentes y monocomponentes con un agente endurecedor latente que se libera únicamente por reacción a alta temperatura. Los epoxis empleados en aplicaciones estructurales deben ser curados a temperaturas

altas o a temperatura ambiente con post-curado por calor, siguiendo en cualquier caso perfiles controlados de calentamiento para lograr las propiedades óptimas del adhesivo curado.

- **Epoxis flexibles de un componente y alta resistencia**

Los adhesivos tienen alta resistencia, cuando se les somete a esfuerzos cortantes o de tensión, han ofrecido características más bien deficientes al "pelado" o desprendimiento laminar, o a la separación por capas, a causa de la rigidez del producto curado. La modificación adicional para lograr más flexibilidad condujo en general a una disminución de las propiedades relativas a la tensión o al esfuerzo cortante. Varias innovaciones han hecho posible obtener resistencias aun mayores que las obtenidas previamente con los adhesivos epóxicos, dándoles a la vez una flexibilidad relativamente alta y más resistencia al desprendimiento laminar o a la separación por capas. El empleo de los epóxicos de nylon modificado es a menudo limitado, ya que están normalmente en forma de película y son relativamente costosos, la otra innovación se relaciona con un proceso especial de polimerización, estos dos tipos de formulaciones epóxicas pueden usarse en aplicaciones en las que se requieran tanto una alta resistencia como flexibilidad. No retienen sus propiedades al pasar de los 93°C (200°F), lo cual limita su uso en servicio a temperatura elevada. Estos adhesivos son útiles en cambio hasta los -55°C (-67°F). La mayoría de los adhesivos de esta clase se curan durante una hora aproximadamente, a 176°C (350°F), con presión de contacto para obtener propiedades óptimas. Con tiempos de curado mucho más cortos, a 204°C (400°F), siguen proporcionando propiedades mejores que las de otros adhesivos epóxicos.

- **Epoxis semirígidos de un componente y alta resistencia**

Las primeras formulaciones de productos epóxicos estaban limitadas por su poca resistencia al desprendimiento o pelado en película y a la separación en capas, a pesar de que hay adhesivos epóxicos más resistentes y flexibles, todavía hay la necesidad de estos adhesivos rígidos, por sus buenas propiedades a temperaturas elevadas. Para la mayoría de estos materiales

hay una amplia extensión en cuanto a los ciclos de curado, desde unas cuantas horas a 149°C (300°F) hasta unos cuantos minutos a 260°C (500°F). La mayoría de las formulaciones son en forma de pasta, pero algunas se ofrecen para sumergir la parte calentada en polvo. La varilla se aplica a una parte calentada, en forma similar a la usada en la aplicación de la soldadura de bajo punto de fusión. También en este caso, el polvo o la varilla pueden fundirse, a una temperatura inferior a la que corresponde a la estabilización térmica del material. La mayoría de estos adhesivos son adecuados para servicio entre -34 a 204°C (-30 a 400°F), o temperaturas superiores. Debe reiterarse que la mayoría de los adhesivos epóxicos requieren sólo de presión de contacto para el curado. Una excepción a la regla es la familia de los adhesivos epóxicos fenólicos modificados. Estos requieren presión durante el ciclo de curado. En exposiciones severas, tales como la inmersión en agua hirviente o en hidrocarburos halogenados para propulsión, los adhesivos epóxicos del tipo semirrígido son los únicos materiales conocidos como durables. Por supuesto, la durabilidad es relativa (se pierde cierto porcentaje de su resistencia), pero la mayoría de los demás adhesivos fallarían completamente en estos tipos de exposición.

- **Adhesivos Epóxicos de Varios Componentes**

La mayoría de los adhesivos de varios componentes se contienen en dos partes: la resina epóxica, con rellenos o modificadores ya agregados y el activador o endurecedor. La mayor parte de estos adhesivos pueden curarse a la temperatura ambiente, y pueden requerir desde unas cuantas horas hasta 48 horas.

Al igual que los adhesivos epóxicos de un componente, las formulaciones en dos partes se ofrecen en diversas combinaciones de flexibilidad y resistencia. Cuanto más fuerte es un adhesivo al esfuerzo cortante, menores son las probabilidades de que sea flexible. Estos materiales se ofrecen generalmente en forma líquida o en forma de pasta (como veremos en los pegamentos epóxicos en la industria ecuatoriana). Las partes deben dosificarse con toda precisión, y mezclarse perfectamente, inmediatamente antes de usarse. El activador, que representa la fuerza para entrelazar en forma cruzada los

polímeros de la resina, debe agregarse en la cantidad prescrita, para que ocurran todas las reacciones posibles, y no debe quedar en la mezcla ningún exceso de activador. Por las mismas razones, debe mezclarse adecuadamente el material combinado, para asegurarse de que tengan lugar todas las reacciones. Los adhesivos de dos componentes que se curan bajo condiciones ordinarias de ambiente, se emplean en aplicaciones en las que el curado con calor, resulta imposible o antieconómico. Los resultados de los adhesivos epóxicos de dos partes pueden mejorarse calentando en el intervalo de 66 a 121°C (150 a 250°F); pero si se permiten temperaturas mayores (arriba de 121°C ó 250°F), podrían emplearse igualmente adhesivos epóxicos de un componente. En general, las propiedades químicas, a temperatura elevada, y la resistencia al agua de las formulaciones de dos componentes, no son tan buenas como las de los epoxis de una sola parte, esto se debe en cierto grado a la preparación de la superficie del material base.

3.2.4 PROPIEDADES DE LOS EPOXIS

Con la información obtenida hasta el momento se conocerá las propiedades que estas nos ofrecen, pues existe una relación entre composición, propiedad y usos.

3.2.4.1 PROPIEDADES DE LOS EPOXIS NORMALES

Algunas de las propiedades más sobresalientes son:

- Adhieren casi todos los sustratos (materiales base). Especialmente la adhesión a los materiales metálicos y el vidrio
- Gran relleno de holguras.
- Alta resistencia a cizalla o cortadura, tracción y compresión.
- Adhesivos muy rígidos. Resistencia al pelado y al impacto en formulaciones flexibles (epoxinitrilo).
- Buenas propiedades para el aislamiento eléctrico.
- Buena resistencia química.
- Son mecanizables.
- Resistencia a temperaturas de hasta 180°C ó hasta 250°C en algunas formulaciones.
- Humectación y adherencia son óptima.
- Buena resistencia mecánica.

- Resisten la humedad y al agua.
- Resisten el ataque de fluidos corrosivos.
- Poca contracción al curar.

3.2.4.2 PROPIEDADES DE LOS EPOXIS TENACES

Algunas de las propiedades más sobresalientes son:

- Elevadísima estructuralidad.
- Tenacidad moderada con elongaciones a la rotura bajas y medias.
- Buena resistencia química.
- Resistencia a la fatiga.
- Adhieren casi todos los sustratos.
- Gran relleno de holguras.
- Son mecanizables.
- Resistencia a temperaturas de hasta 180°C ó hasta 250°C en algunas formulaciones.

Una vez que se conoce las propiedades se hablará de las ventajas y desventajas que los adhesivos epóxicos nos presentan.

3.2.5 VENTAJAS DE LOS EPOXIS.

Algunas ventajas comparándolos con los otros tipos de adhesivos, son:

- La gran resistencia al pelado aumenta la versatilidad de diseño.
- La proporción de mezclado 1:1 reduce los costes de aplicación.
- La durabilidad aumenta la selección de materiales.
- El curado a temperatura ambiente reduce los costes de maquinaria y energía.
- Al ser libre de solventes mejora la seguridad en el lugar de trabajo.
- El poco olor mejora el ambiente en el lugar de trabajo.
- El curado rápido aumenta la velocidad de producción.
- Distribución mejorada de la tensión: las tensiones se distribuyen uniformemente sobre el área consolidada entera de tal modo que elimina concentraciones localizadas de la tensión (Fig. 3.3).

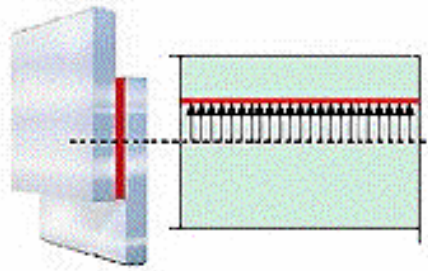


Fig.3.3 Distribución de la tensión en adheridos ¹.

- Resistencia excepcional de la fatiga de empalmes adhesivos consolidados así como resistencia excelente al choque y a la vibración.
- Los empalmes adhesivo consolidados proporcionan el contacto continuo entre los substratos que proporcionan los buenos sellos así como buenas características portadoras.
- Capacidad de enlazar los materiales diferentes incluyendo los metales, los plásticos, la cerámica, el cristal y la madera, por lo que frecuentemente se emplean en otras industrias donde es necesario unir materiales incompatibles.
- Las superficies de los adhesivos consolidadas ofrecen los contornos lisos y libres de boquetes.
- Capacidad para enlazar los materiales a temperatura baja, es importante para la temperatura elevada para proteger los substratos sensibles al calor.
- Ahorros substanciales del peso y de coste sin la pérdida concurrente de fuerza.
- Tolerancias menos críticas cuando los componentes se ensamblan debido a la capacidad de boquete que llena.
- Su bajo costo.
- Su alta resistencia al impacto, su resistencia a altas temperaturas y disolventes.
- Tienen una buena capacidad para rellenar holguras debido a su alta viscosidad

3.2.6 DESVENTAJAS DE LOS EPOXIS

3.2.6.1 DESVENTAJAS DE LOS EPOXIS NORMALES

- Presentan problemas de absorción y difusión de la humedad en su seno.

- Sistemas de alto rendimiento bicomponentes y con necesidad de calor, al menos en la etapa de post-curado.
- Problemas de tiempos de curado, vida de la mezcla y necesidad de temperatura para conseguir un alto grado de reticulación.

3.2.6.2 DESVENTAJAS DE LOS EPOXIS TENACES

- Presentan problemas de absorción y difusión de la humedad en su seno.
- Problemas en la dosificación de los sistemas de alto rendimiento bicomponentes y con necesidad de calor, al menos en la etapa de post-curado.
- Problemas de tiempos de curado, vida de la mezcla y necesidad de temperatura para conseguir un alto grado de reticulación.
- Los epoxis tenaces monocomponentes deben conservarse a temperaturas muy bajas (-40°C).

3.2.7 APLICACIONES DE LOS EPOXIS

Los epoxis han demostrado ser adhesivos de alto rendimiento por lo que se emplean en muchas aplicaciones como son:

3.2.7.1 APLICACIONES DE LOS EPOXIS NORMALES

- En la industria de la Construcción: se usan en esta industria para unir bloques y como argamasa en edificios, además unión entre hormigones, morteros, juntas, membranas, anclajes, pinturas y reparación estructural. También los epoxis se utilizan como aditivo para ciertos cementos, para el reforzado de muchas estructuras que aligeran así su peso.
- En la industria aeronáutica para un gran número de aplicaciones (Fig. 3.4), pero las más comunes incluyen:
 - Fabricación y reparación de componentes interiores y exteriores de aviones.
 - Unión flexible de sustratos de plástico de ingeniería.
 - Fabricación y reparación de las estructuras sándwich.



Fig. 3.4 Aplicación de los adhesivos en la industria aeroespacial.

- Fabricación de materiales compuestos
- Para el montaje de multistratos para material médico.
- Recubrimientos superficiales
- Electrónica (circuitos impresos, encapsulación, chips, sellado de relés, etc.)
- En la industria naval, tiene las siguientes aplicaciones:
 - Como sellante para impermeabilizar una superficie (Fig. 3.5).



Fig.3.5 Aplicación como sellante.

- Para reforzar una zona del casco pegando fibra de carbono mediante capas de tejido y epoxi.
- Como imprimación que sirva de soporte para una estructura que puede efectuarse en fibra de vidrio con epoxi.
- Como pegamento para unir una pieza a otra.
- Como material de relleno en un agujero o zona a obturar.
- Para laminar varias capas de madera o fibra y conseguir un soporte rígido y estructuralmente sólido.
- Como material para igualar una superficie rugosa o imperfecta antes de ser

lijada para un acabado totalmente liso.

- En la industria automotriz, , tiene las siguientes aplicaciones:
 - Como selladores expandibles (Fig. 3.6), refuerzo de p neles, amortiguadores de ruido.

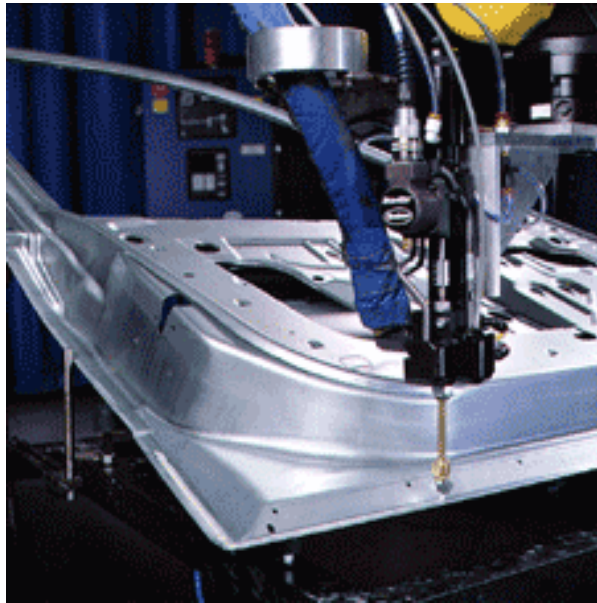


Fig. 3.6 Colocación del adhesivo como sellante en la puerta del automóvil.

- Se emplean en uniones estructurales de las nuevas carrocerías para vehículos ligeros, sustituyendo la soldadura. (Fig. 3.7)



Fig. 3.7 Acabado final de una unión con adhesivo sobre aluminio

- La adhesión de mangos a herramientas, de estructuras aeroespaciales, de superficies de mostrador de cocina, de cubiertas de motor y de escuadras de montaje.
- En la construcción de aviones, coches, bicicletas, esqu es.

- Sirven para pegar gran cantidad de materiales, incluidos algunos plásticos, y se puede conseguir que sean rígidos o flexibles, transparentes o de color, de secado rápido o lento.

3.2.7.2 APLICACIONES DE LOS EPOXIS TENACES

- Adhesivos estructurales para la industria aeronáutica como :
 - Reforzado de estructuras de panel de abeja que incluyen compartimentos de equipaje de mano paneles del suelo, cabinas de cocina y servicios, superficies de control de vuelo y compuertas del tren de aterrizaje.
 - Amortiguación del ruido y vibración del motor y la resistencia general al impacto.
- Adhesivos estructurales para la industria espacial.
- Adhesivos estructurales para la industria naval.
- Adhesivos estructurales para la industria en general para aplicaciones con relleno de holgura.
- Encapsulado y relleno en aplicaciones electrónicas.

3.2.7.3 APLICACIONES DE LOS EPOXIS FLEXIBLES DE UN COMPONENTE Y ALTA RESISTENCIA

- Los recipientes sujetos a presión
- Componentes estructurales arquitectónicos
- Las juntas estructurales en el campo de la transportación
- Tableros de panel para aviones.

3.2.7.4 APLICACIONES DE LOS EPOXIS SEMIRIGIDOS DE UN COMPONENTE Y ALTA RESISTENCIA

- Unión de tuberías de refrigeradores o evaporadores
- Componentes para motores automotrices
- Paneles para aviación.

Una vez que se conoce sobre los beneficios que nos brindan los adhesivos epóxicos se conocerá a continuación los adhesivos epóxicos que se puede utilizar en nuestra industria.

3.2.8 PEGAMENTOS EPÓXICOS EN LA INDUSTRIA ECUATORIANA

Los adhesivos a base de resinas epoxi son sustancias con consistencia pastosa, o cremosa, que se presentan en dos componentes separados que deben mezclarse, siguiendo las proporciones indicadas por el fabricante (ver tabla 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 y Anexos C1, C2, C3, C4), justo en el momento de ser utilizados. Uno de estos componentes es el adhesivo o el pegamento epóxico, y el otro el endurecedor o catalizador. Al mezclarse los dos componentes de una pegamento a base de resinas epóxicas, se produce una reacción química cuyo resultado es una sustancia muy sólida, de gran poder adhesivo, resistente a la intemperie, a la humedad, y al calor (que puede ser de hasta los 250 °C como se ve en las tablas del 3.3 hasta la 3.7), casi como si se tratara de una soldadura. Las resinas pueden ser opacas o traslúcidas, en función de su composición. A pesar de resistir a la intemperie, el proceso de pegado no funciona muy bien cuando la temperatura cae por debajo de los 5°C. De hecho para pegar adecuadamente lo ideal es mantener temperaturas rondando los 20°C durante todo el proceso de secado. Si es necesario puede recurrirse a usar un secador de pelo que caliente ligeramente la zona. Las resinas epoxi se utilizan para pegar materiales rígidos como por ejemplo metal, vidrio, cerámica, etc., pero nuestro caso solo aplicaremos en metales de bajo contenido de carbono (SAE 1020) con un espesor de 1.6 y 25.4mm. Una vez se ha producido el curado, va a ser casi imposible de separar las partes pegadas.


Nombre	Marca	Composición química	Temperatura y tiempo de curado.	Materiales que puede unir	Temperatura de resistencia.	Modo de uso del adhesivo	Precauciones.
Perma Poxy. 	Permatex	Tubo con el contenido de color amarill: Resina epóxica Tubo con el contenido transparente: endurecedor en base de nonyphenol.	T = 22°C t = 8 horas	Ceramica Concreto Vidrio Metal Caucho etc.	-51°C a 82°C.	Romper protección Tirar ligeramente el embolo hacia atrás (1/8") Oprimir el embolo para surtir cantidades iguales. Mezclar minuciosamente con la paleta. Aplicar a la superficie.	Evite el contacto con los ojos y la piel. No respire los vapores.

Tabla. 3.3: Propiedades del adhesivo Perma Poxy.


Nombre	Marca	Composición química	Temperatura y tiempo de curado.	Materiales que puede unir	Temperatura de resistencia.	Modo de uso del adhesivo	Precauciones.
Poxi Bonder. 	Loctite	Parte A: Resina Epóxica. Parte B: Endurecedor en base de Polimercaptana	T = Ambiente t = 3 horas	Metal Concreto Marmol Vidrio Caucho Madera PVC Rígido etc.	-20°C a 100°C.	Romper la protección Colocar cantidades iguales en la bandeja Mezclar minuciosamente con la paleta. Aplicar inmediatamente la mezcla sobre la superficie y presionarlas por 2 min.	Evite el contacto con los ojos y la piel. No respire los vapores.

Tabla. 3.4: Propiedades del adhesivo Poxi Bonder.


Nombre	Marca	Composición química	Temperatura y tiempo de curado.	Materiales que puede unir	Temperatura de resistencia.	Modo de uso del adhesivo	Precauciones.
2 Ton Epoxy 	DEVCON	Tubo con el contenido de color amarillo: Resina epóxica y Fenol Nofílico. Tubo con el contenido transparente: endurecedor en base de N-Aminoetilpiperacina.	t = 8 horas	Metal Concreto Marmol Vidrio Caucho Madera PVC Rigido etc.	.15°C a 93°C.	Romper protección Tirar ligeramente el embolo hacia atrás (1/8") Oprimir el embolo para surtir cantidades iguales. Mezclar minuciosamente con la paleta. Aplicar a la superficie.	Evite el contacto con los ojos y la piel. No respire los vapores, use ropa adecuada

Tabla. 3.5: Propiedades del adhesivo 2 Ton Epoxy


Nombre	Marca	Composición química	Temperatura y tiempo de curado.	Materiales que puede unir	Temperatura de resistencia.	Modo de uso del adhesivo	Precauciones.
Super Epoxy 	PC	Parte A (Color Amarillo): Bisphenol A Epoxy Resin, Epoxy Resin, Acrylated Polyols, Modified Bisphenol A Epoxy Resin, Aliphatic Glycidyl Parte B (Celeste): N-Aminoethyl piperazine, Amine Terminated Liquid Copolymer, Nonyl Phenol, Diisodecyl Phthalate	T = 21°C t = 3 a 4 horas	Metal Vidrio Fibra de vidrio Concreto Cerámica Madera Plásticos rígidos etc.		Romper la protección Colocar cantidades iguales en la bandeja Mezclar hasta que desaparezcan los colores. Aplicar inmediatamente la mezcla sobre la superficie	Evite el contacto con los ojos y la piel.

Tabla. 3.7: Propiedades del adhesivo Super Epoxy.

3.2.9 RIESGOS DE LAS RESINAS EPÓXICAS

Las resinas epoxi se obtienen a partir de compuestos conteniendo un grupo epoxi, tal como epiclorhidrina que pueden estar presente en el adhesivo en forma residual libre. En su formulación incluyen endurecedores que suelen ser aminas y anhídridos como se vio en la tabla 3.2. Se caracterizan estos compuestos por su rápido endurecimiento al aplicarlos y por desprender productos volátiles como epiclorhidrina y difenilpropano, entre otros. Desde el punto de vista de su toxicidad, la epiclorhidrina, al igual que la mayoría de compuestos epoxi, tiene una intensa acción irritante, es un depresor del sistema nervioso central, provoca alergias de contacto, y tiene atribuido un potencial cancerígeno y mutágeno. En la práctica el principal problema toxicológico que presentan los adhesivos de tipo epoxi es su acción cutánea, ya que tanto los compuestos epoxi como las aminas son causas importantes de irritación y sensibilización cutánea aunque estos compuestos también pueden ocasionar irritaciones de las vías respiratorias superiores (Anexo C1, C2, C3, C4). También hay que tener presente un posible riesgo cancerígeno por contacto con compuestos epoxi.

Como se dijo anteriormente los riesgos, ahora se verá los posibles efectos sobre la salud que son de síntomas agudos como:

- **Contacto con los ojos:** Puede causar irritación, inflamación, lagrimeo, enrojecimiento o daño de córnea.
- **Contacto con la piel:** Irritación moderada. Puede causar sensibilización de la piel, evidenciada por sarpullido y urticaria.
- **Inhalación:** Irritación moderada de la nariz y las vías respiratorias. Puede causar depresión al Sistema Nervioso Central, evidenciada por dolor de cabeza, mareo y náusea.
- **Ingestión:** Puede causar irritación al tracto gastrointestinal. Puede causar depresión en el Sistema Nervioso Central u otros efectos sistémicos.
- **Efectos sistémicos:** Pulmones, ojos y piel.

Luego de ver los efectos ahora se vera las medidas de primeros auxilios que se puede hacer en los diferentes casos

- **Contacto con los ojos:** Lave inmediatamente los ojos, manteniéndolos

abiertos, con abundante agua fría por lo menos durante 15 minutos. Si el enrojecimiento, ardor, visión borrosa o inflamación persisten, CONSULTE CON UN MÉDICO.

- **Contacto con la piel:** Quite el producto e inmediatamente lave la zona afectada con agua y jabón. No aplique grasas ni pomadas. Quite la ropa contaminada. Lave la ropa con agua y jabón antes de utilizarla de nuevo. Si el enrojecimiento, ardor, o inflamación persisten, CONSULTE CON UN MÉDICO.
- **Ingestión:** NO PROVOQUE VÓMITO. Nunca administre nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua, luego beba sorbos de agua para quitar el sabor de la boca. CONSULTE CON UN MÉDICO si los vómitos ocurren espontáneamente, mantenga la cabeza por debajo de las caderas para evitar la aspiración.
- **Inhalación:** Lleve al paciente al aire fresco. Si el paciente sigue experimentando dificultades para respirar, CONSULTE CON UN MÉDICO.

CAPITULO IV

EL CURADO DE LAS RESINAS

Una vez analizado los tipos de adhesivos, corresponde revisar un proceso importante en la aplicación de estos materiales que es el curado de las resinas.

4.1 MECANISMO DE CURADO DE LOS ADHESIVOS

La mayoría de los adhesivos son polímeros reactivos, es decir pasan de estado líquido a sólido a través de diversas reacciones químicas de polimerización. Según sus propiedades de curado son:

- Reacción anaeróbica.
- Exposición a la luz visible y ultravioleta (UV).
- Reacción aniónica (cianoacrilatos).
- Sistema de activación (acrílicos modificados).
- Curado por humedad (siliconas, poliuretanos).
- Curado térmico (epoxis).

4.1.1 ADHESIVOS CURADOS POR REACCIÓN ANAERÓBICA

Los adhesivos anaeróbicos son materiales de un solo componente que curan a temperatura ambiente, cuando se les priva de contacto con el oxígeno. El componente de curado del adhesivo permanece inactivo mientras está en contacto con el oxígeno atmosférico (Fig. 4.1), cuando se le priva de oxígeno atmosférico se inician el proceso de polimerización (Fig. 4.2).

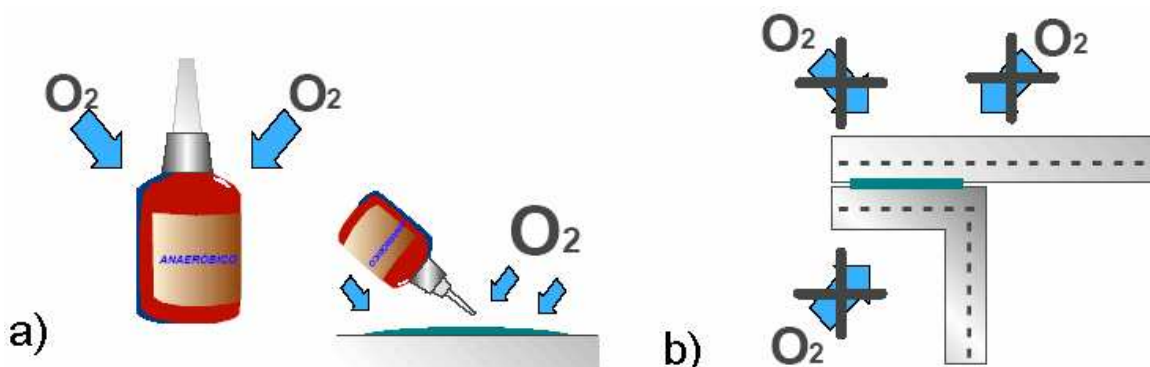


Fig. 4.1 a) El adhesivo permanece líquido dentro del envase y sobre la pieza no se produce el curado y b) Se cura con la ausencia del oxígeno y presencia de iones metálicos¹

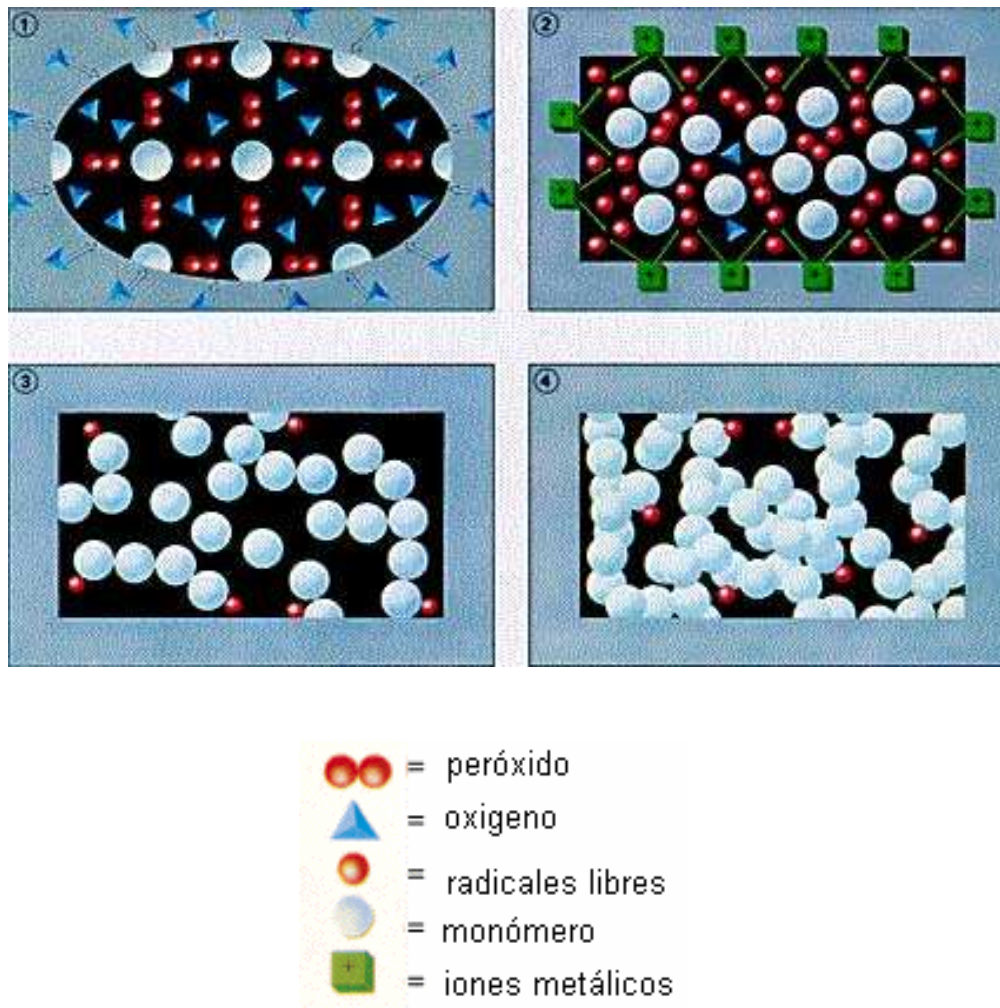


Fig.4.2 Proceso de curado de los adhesivos por reacción anaeróbica¹

Descripción del proceso de curado:

El proceso de curado comienza cuando el adhesivo en estado líquido (1) se mantiene estable mediante el suministro constante de oxígeno. Cuando el adhesivo se obstruye en la holgura de la junta y queda separado del suministro de oxígeno (2), los peróxidos se convierten en radicales libres por reacción con los iones metálicos. Los radicales libres inician entonces la formación de cadenas poliméricas (3). El estado de curado (4) muestra una estructura sólida con cadenas poliméricas reticuladas (Fig. 4.2).

El efecto capilar del adhesivo líquido lo lleva incluso al interior de los huecos más pequeños para llenar la junta. El adhesivo curado queda entonces fijado a la rugosidad superficial de las piezas. Esto mantiene unidas las piezas. El proceso de curado también viene estimulado por el contacto entre las superficies del

adhesivo y del metal, que funciona como catalizador o endurecedor (tabla 4.1). Los materiales pasivos pueden tener o no un ligero efecto catalizador por lo que requiere el uso de activadores para lograr un curado rápido y completo. En este caso, el activador líquido (use para una unión rápida) se aplica a uno o ambos lados de la unión antes de aplicar el adhesivo. De esta forma, no se mezclan componentes ni se ve afectada su vida útil.

Materiales activos Curado rápido	Materiales pasivos Curado más lento*
Latón	Revestimientos anódicos
Bronce	Aluminio (de bajo contenido en Cu)
Cobre	Cerámica
Hierro	Capas de cromado
Acero	Vidrio
	Acero de alta aleación
	Níquel
	Capas de óxido
	Plásticos
	Plata
	Acero inoxidable
	Estaño
	Zinc

Tabla 4.1 Materiales activos y pasivos y su efecto en el curado anaeróbico.

El curado, especialmente la rapidez con que se produce en los productos anaeróbicos, se ve afectado principalmente por:

- Los sustratos a unir.
- La holgura entre las piezas a unir.
- La temperatura.
- El activador.

4.1.2 ADHESIVOS CURADOS POR LUZ

La polimerización inducida por la luz se empleaba ya hace más de 4000 años en la preparación de momias. También emplearon esta tecnología para sellar los

barcos con un aceite asfáltico que era capaz de polimerizar tras su exposición al sol para generar recubrimientos impermeables y resistentes.

La ventaja principal del proceso de curado por luz es su velocidad de curado. Dependiendo del producto y sistema, el curado se puede conseguir en cuestión de segundos. Otras ventajas son:

- Sistemas monocomponentes, sin necesidad de medir o mezclar, ni preocupaciones en cuanto a la vida útil de la mezcla.
- No contienen disolventes.
- Su curado a temperatura ambiente es muy rápido.
- El curado a petición, facilita la alineación de las piezas.
- Necesitan menos espacio y energía para el equipo que los hornos.
- Permiten el ensayo de las piezas casi inmediatamente después del montaje.

La limitación principal del sistema de curado por luz consiste en que debe haber la luz adecuada, tanto en el tipo (longitud de onda o distribución del espectro), como en la intensidad. Esto significa que en una aplicación de adhesivo, uno de los sustratos debe transmitir la luz adecuada. Así mismo, los montajes con zonas ensombrecidas necesitarán de un mecanismo de curado secundario.

4.1.2.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DEL CURADO POR LUZ

4.1.2.1.1 EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Para el curado de un adhesivo mediante luz es necesaria una energía para que la reacción química tenga lugar. La luz visible y la luz UV son ejemplos de la energía radiante o energía transmitida desde una fuente de alta temperatura a un cuerpo receptor sin utilizar ningún otro sistema. La luz UV y la luz visible realmente comprenden una muy pequeña porción del espectro electromagnético que es una ordenación por longitud de onda de todos los tipos de energía radiante que se encuentran en la tierra (Fig. 4.3). La luz UV se extiende desde 100-400nm (nanómetros) y la luz visible desde 400 a aproximadamente 760 nm en longitud de onda.

Espectro electro magnético

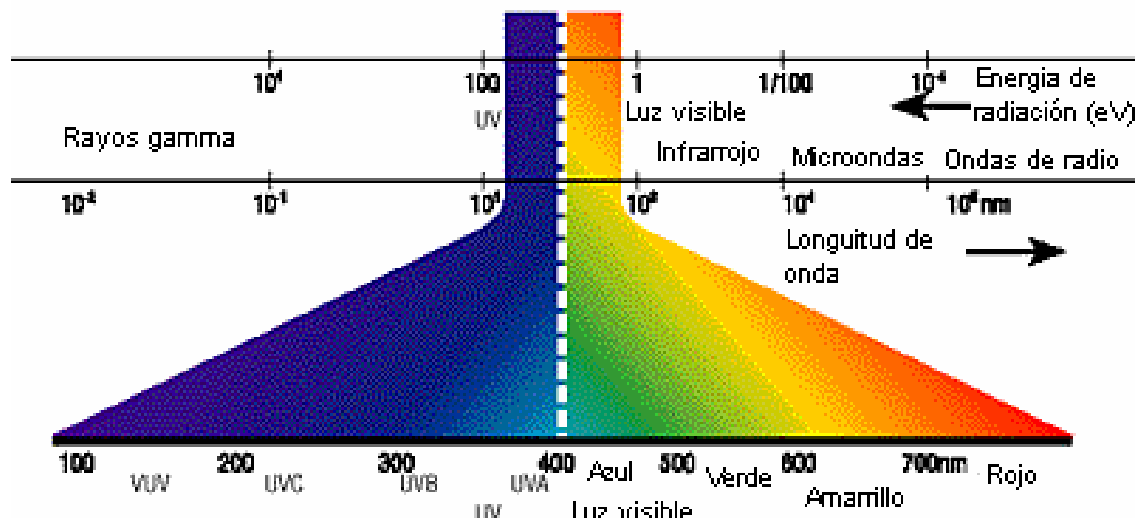


Fig.4.3 Espectro electro magnético. El diagrama ilustra los tipos de energías radiantes y longitudes de onda asociadas que componen el espectro electromagnético¹.

4.1.2.1.2 TIPOS DE LUZ UV Y LUZ VISIBLE

La luz UV se divide en cuatro grupos basados en la longitud de onda/energía y capacidad de interactuar con la materia:

- **UVA (315-400nm) ó Luz negra.-** Se utiliza para reacciones de polimerización UV de baja energía. También para tareas de inspección fluorescente.
- **UVB (280-315nm).-** Se utiliza para polimerización por UVA, ya que es la región energética más fuerte de la luz solar natural, para el envejecimiento acelerado por luz de los materiales. La luz UVB es la responsable de las quemaduras solares.
- **UVC (200-280nm).-** Se utiliza para el curado superficial rápido de las tintas y lacas UV, así como para aplicaciones germicidas y de esterilización.
- **VUV (200-100nm) ó UV vacío.-** Se puede utilizar únicamente en vacío y es, por lo tanto, de una importancia comercial menor.

La luz visible también se divide en diferentes colores, siendo asociada a distintas longitudes de ondas, según se indica en el diagrama del espectro electromagnético. Actualmente, la longitud de onda utilizada para el curado por luz visible está en la región violeta a azul (400-480 nm).

4.1.2.1.3 LA POLIMERIZACIÓN PRODUCIDA POR LA LUZ

Con el fin de que el adhesivo de curado por luz reaccione a la luz UV o visible, un componente químico denominado fotoiniciador debe estar presente en la formulación. La luz emitida desde una fuente adecuada produce la rotura del fotoiniciador en especies reactivas. Las especies generadas inician un proceso de polimerización rápida con monómeros y oligómeros en el sistema para formar un polímero reticulado duradero. Las combinaciones de fotoiniciadores que responden a la luz visible y UV se utilizan a menudo en los productos más recientes para mejorar su versatilidad.

4.1.2.1.4 TIPOS DE SISTEMAS DE CURADO POR LUZ

Existen, principalmente, dos tipos de sistemas de curado por luz:

- Basados en iniciadores de radicales libres.
- Basados en iniciadores catiónicos.

4.1.2.1.4.1 SISTEMAS DE RADICALES LIBRES

La mayoría de adhesivos de curado por luz son del tipo de radicales libres y utilizan principalmente componentes acrílicos (acrilato). Los sistemas de radicales libres son los más versátiles en relación a las propiedades del adhesivo, porque muchos tipos distintos de monómeros y oligómeros están disponibles para su uso y se pueden obtener diferentes propiedades. Con un sistema de radicales libres, la polimerización se para tan pronto como se apaga la luz.

4.1.2.1.4.2 SISTEMAS CATIONICOS

Los sistemas catiónicos contienen materiales epoxis o éter de vinilo. Debido a que sólo una variedad limitada de monómeros y oligómeros están disponibles para su uso en estos sistemas, queda limitada su versatilidad para ajustar las propiedades. Al contrario que los sistemas de radicales libres, algunos curados continúan después de quitar la fuente de luz, aunque es mínima y a menudo requieren de un empuje térmico o calor, para que sea efectiva. Los fotoiniciadores que generalmente se usan en sistemas catiónicos, pueden resultar de alguna manera tóxica y sus residuos corrosivos.

4.1.2.2 FACTORES A CONSIDERAR PARA EMPLEAR LAS TÉCNICAS DE CURADO POR LUZ.

Los factores que deben tenerse en cuenta son cuatro para el curado por luz, estos factores influyen en la selección del adhesivo como en la eficiencia del

proceso de fabricación. Estos son:

- Emisión del espectro de la lámpara.
- Intensidad de la luz.
- Propiedades de transmisión del sustrato.
- Características de curado (curado en profundidad, curado superficial, velocidad, etc.)

4.1.2.2.1 EMISIÓN DEL ESPECTRO DE LA LÁMPARA Y EL FOTOINICIADOR

Una de las consideraciones más importantes a tener en cuenta para un curado óptimo es el espectro de emisión de la lámpara a las características de absorción del fotoiniciador en el material a curar. Esto se consigue coordinando la selección de la lámpara con la química del producto. Como ya se ha indicado anteriormente, existe una variedad de lámparas con diferentes emisiones de espectro. Los distintos fotoiniciadores cuentan con diferentes características de absorción. Cuanto más intensa sea la emisión de la lámpara en la longitud de ondas absorbidas por el fotoiniciador de un adhesivo, más eficaz será el curado.

4.1.2.2.2 INTENSIDAD DE LUZ SOBRE EL ADHESIVO

El principal factor influyente sobre la velocidad de curado es la intensidad de la luz sobre el adhesivo (irradiación), cuanto más intensa sea la luz, más rápida será la velocidad de curado. La irradiación esta en función de:

- La potencia de la lámpara.
- Distancia entre la lámpara y el producto.
- Tipo de reflector.
- Antigüedad de la lámpara.
- Características de transmisión del sustrato

4.1.2.2.3 CARACTERÍSTICAS DE CURADO

4.1.2.2.3.1 PROFUNDIDAD DE CURADO

La profundidad de curado se aumenta con longitud de ondas más largas. En caso de profundidades de curado muy grandes, se recomiendan sistemas de curado por luz visible. El curado en profundidad es una función de la composición del

adhesivo. La profundidad de curado puede mejorarse o curar en zonas de sombra con el uso de sistemas de curado dual que son formulaciones a las cuales se ha incorporado un mecanismo de curado secundario (calor, humedad, activador).

4.1.2.2.3.2 CURADO SUPERFICIAL

El curado superficial, se mejora exponiéndolo a longitud de ondas más cortas y energéticas. El curado superficial puede no ser importante en una aplicación de adhesión, excepto si se trata de bordes largos, pero obviamente, es importante para recubrimientos, o aplicaciones de relleno.

4.1.2.2.3.3 VELOCIDAD DE CURADO

La velocidad de curado depende tanto de la composición del adhesivo como de la intensidad de la luz. Cualquier factor que reduzca la intensidad de la luz sobre el adhesivo, reducirá la velocidad de curado. Una de las preocupaciones es el alto grado de generación de calor. El calor excesivo puede afectar adversamente a las piezas sensibles térmicamente, produciéndose la fragilización en el adhesivo ya curado, o causar la volatilización en el producto de componentes no volátiles normalmente. Un efecto más sutil pero suficientemente negativo resultante de un curado demasiado rápido, es la posibilidad de reducir la adhesión al sustrato.

4.1.2.3 CURADO POR LUZ ULTRAVIOLETA

El tiempo de curado de estos adhesivos depende de la intensidad y de la longitud de onda de la luz UV. Por este motivo, la polimerización iniciada por luz UV siempre requiere una coordinación exacta entre el adhesivo y la fuente de radiación UV. La radiación UV disocia los fotoiniciadores. Los radicales libres así formados inician a su vez la polimerización (Fig. 4.4).

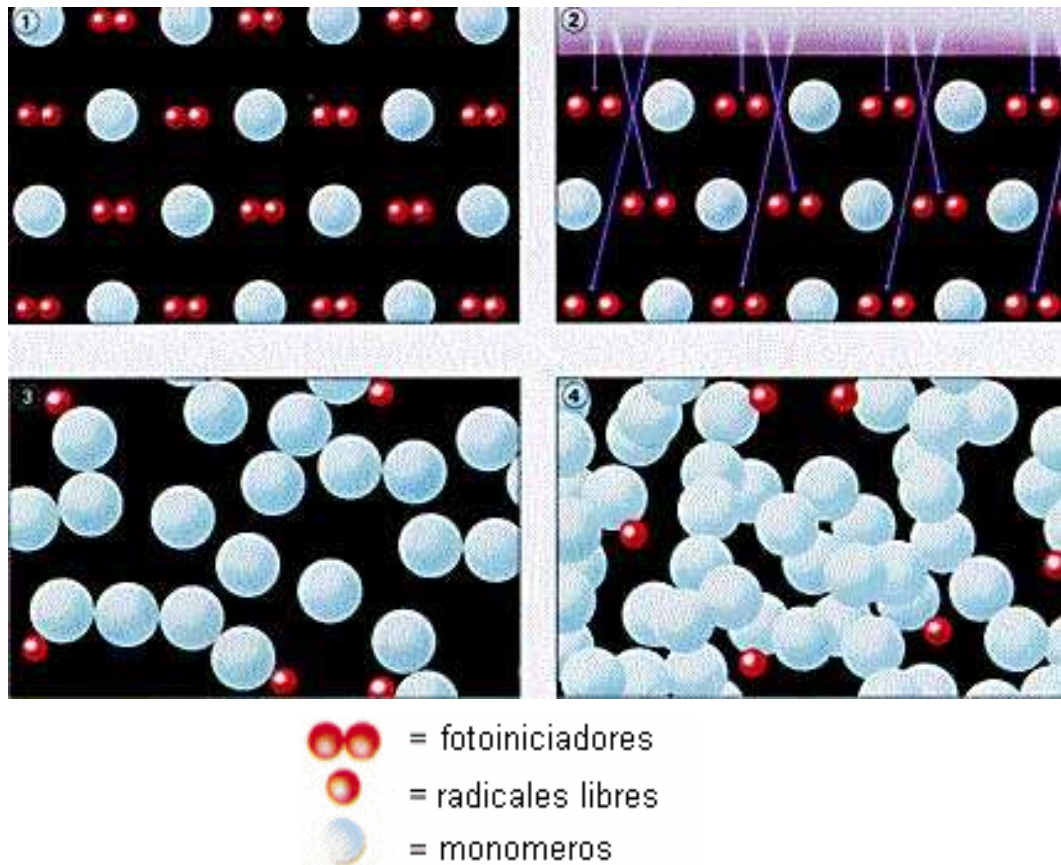


Fig. 4.4 Proceso de curado por luz UV¹.

Descripción del proceso de curado:

El proceso de curado comienza cuando el adhesivo en estado líquido (1), los monómeros y los fotoiniciadores coexisten sin reaccionar entre sí. Cuando se los expone a la luz UV (2), los fotoiniciadores se convierten en radicales libres. Los radicales libres inician la formación de cadenas oligómeras (3). Cadenas poliméricas reticuladas en estado curado (4) (Fig. 4.4).

Las necesidades del proceso de curado por UV suelen dividirse en tres tipos:

- Curado en profundidad por radiación UV
- Curado superficial por radiación UV
- Sistemas de curado secundario

Curado en profundidad

Los sistemas ultravioleta que emiten luz de alta intensidad en la banda de longitudes de onda de 300 a 400 nm (longitudes de onda UV más largas, rayos UVA) son mejores para conseguir una mayor profundidad de curado (Fig. 4.5)

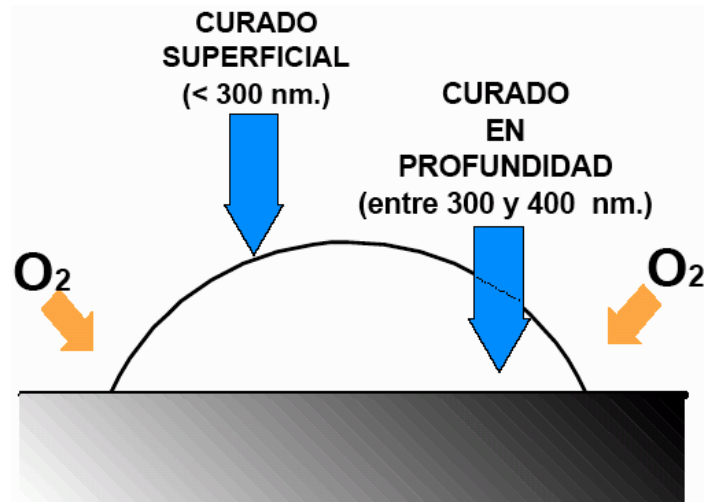


Fig. 4.5 Curado en profundidad y Curado superficial¹

Curado superficial

El curado superficial es especialmente importante cuando se rellena o se une con adhesivos UV. Si se utilizan sistemas de lámparas UV inadecuados, la superficie puede quedar pegajosa. Para evitarlo, la fuente de radiación UV debe producir una alta intensidad en la banda de longitudes de ondas por debajo de los 280 nm (rayos UVC). Esto es efectivo para evitar la reacción no deseable de la superficie del adhesivo con el oxígeno atmosférico, que inhibiría el curado del producto en la superficie (Fig. 4.5).

Curado por mecanismos secundarios

En numerosas aplicaciones, la luz UV no llega a todas las zonas mojadas por el adhesivo. La polimerización se completa por diversos sistemas como:

- Curado anaeróbico
- Calor
- Humedad ambiental
- Activadores

Los adhesivos curados por luz UV tienen las siguientes características:

- Gran resistencia
- Gran capacidad de relleno de holguras
- Resistencia a la manipulación después de tiempos de curado muy reducidos
- Buena o muy buena resistencia medioambiental
- Buena capacidad de dosificación con sistemas de aplicación automática, al ser adhesivos monocomponentes

4.1.3 ADHESIVOS CURADOS POR REACCIÓN ANIÓNICA

Se polimerizan al contacto con superficies ligeramente alcalinas, generalmente la humedad ambiental existente en el aire y sobre la superficie de unión es suficiente para iniciar el curado en pocos segundos. La humedad sobre la superficie de unión neutraliza el estabilizante que contiene el adhesivo. La polimerización tiene lugar de superficie a superficie. La mejor unión se logra cuando se aplica solo la cantidad de adhesivo necesaria para llenar la holgura de la unión. Los mejores resultados se logran cuando la humedad relativa del entorno de trabajo está entre un 40% y un 60% a temperatura ambiente. Cuanto más baja la humedad, más lento el curado; cuanto más alta aquélla, más se acelera éste, pero puede perjudicarse la resistencia final de la unión. Las superficies ácidas (con valores de pH <7) pueden retrasar e incluso impedir el curado, mientras que las superficies alcalinas (con valores de pH >7) lo aceleran (Fig. 4.6). El aire seco no perjudica la resistencia de la unión.

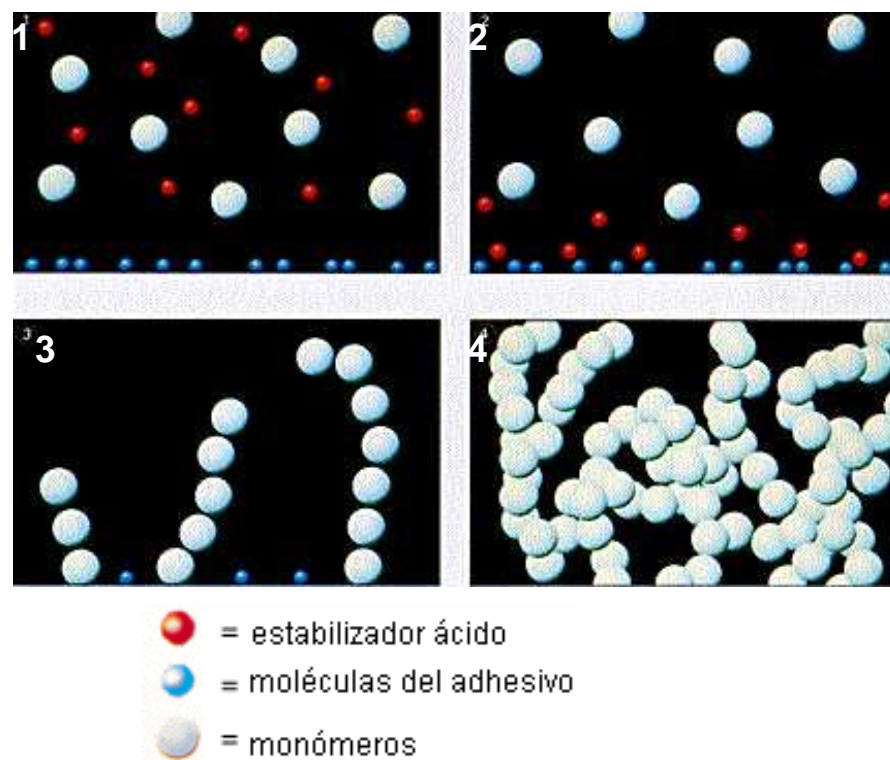


Fig. 4.6. Proceso de curado por acción aniónica¹.

Descripción del proceso de curado:

El proceso de curado comienza cuando el estabilizador ácido evita que las moléculas del adhesivo reaccionen, manteniendo líquido el adhesivo (1). La

humedad superficial neutraliza el estabilizador (2) y comienza la polimerización (3). Se forman muchas cadenas poliméricas entrelazadas (4) (Fig. 4.6).

Después de aplicar el adhesivo, las piezas han de unirse rápidamente, ya que la polimerización comienza en pocos segundos.

Propiedades del curado por reacción aniónica

- Alta resistencia al cizallamiento y a la tracción.
- Muy alta velocidad de curado
- Consumo mínimo de adhesivo.
- Se pueden unir casi todos los materiales.
- Dosificación simple.
- Buena resistencia al envejecimiento.
- Efecto sellador simultáneo.

4.1.4 ADHESIVOS CURADOS MEDIANTE ACTIVADORES

Estos adhesivos se curan a temperatura ambiente cuando se usan con activadores. El adhesivo y el activador pueden aplicarse por separado a las superficies de unión o combinarse previamente en una mezcladora estática antes de su aplicación. Existen adhesivos que se utilizan con un activador de escasa viscosidad. Estos adhesivos nunca se mezclan previamente. El adhesivo y el activador siempre se aplican por separado a las superficies de unión. El adhesivo comienza a curar al unirse las dos piezas. Para eliminar el activador líquido, también existen adhesivos cuyo activador tiene la misma consistencia que el adhesivo. Son sistemas bicomponentes en los que al adhesivo y el activador se aplican por separado, cordón junto a cordón o cordón sobre cordón (Fig. 4.7). Cuando se montan las piezas a unir, el adhesivo se mezcla por el movimiento de unión.

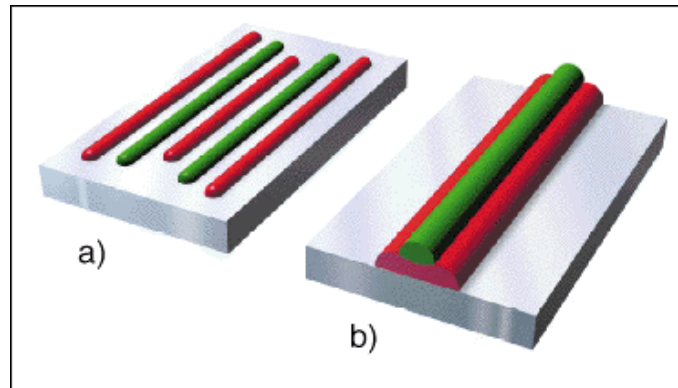


Fig. 4.7 Según cual sea el requisito de aplicación, puede elegirse el método a) o b). En cualquier caso, las partes A y B del adhesivo han de aplicarse de manera que se mezclen durante la unión¹.

Los adhesivos curados por activadores tienen en las siguientes características:

- Muy alta resistencia al cizallamiento y a la tracción
- Buena resistencia al impacto
- Amplia gama de temperaturas útiles (-55°C a 120°C)
- Pueden unir casi todos los materiales
- Buena capacidad de relleno de holgura
- Buena resistencia ambiental

4.1.5 ADHESIVOS CURADOS POR LA HUMEDAD AMBIENTAL

Estos adhesivos y selladores se polimerizan por una reacción de condensación que es una reacción con la humedad del ambiente.

En esta categoría se encuentran dos tipos generales de productos químicos las siliconas y los poliuretanos.

Siliconas:

Estos materiales se vulcanizan o curan a temperatura ambiente al reaccionar con la humedad ambiental. En comparación con la reacción aniónica de los cianoacrilatos, donde la humedad neutraliza al estabilizante, las siliconas utilizan la molécula de agua como base de su entrecruzamiento. Esto significa que la humedad ha de migrar al interior de la silicona hasta el lugar donde se produce la

vulcanización o curado. Una vez integrada la molécula de agua en el enlace entre las moléculas de silicona, se libera un subproducto. Según cuál sea la química del curado, el subproducto liberado puede ser ácido, básico o neutro. La velocidad de curado de estos adhesivos depende principalmente de la humedad relativa. Debido a la naturaleza del mecanismo de curado, las siliconas vulcanizan o curan desde el exterior hacia el interior de la línea de unión. Debido a la necesaria migración de la humedad al punto de enlace, la profundidad de curado se limita de 10 a 15 mm.

Los elastómeros de silicona (o siliconas curadas) tienen en general las siguientes características:

- Excelente resistencia térmica (más de 230°C)
- Flexible, tenaz, alta capacidad de alargamiento
- Módulo de elasticidad bajo a medio
- Selladores eficaces para diversos tipos de fluidos
- Excelente relleno de holgura

Poliuretanos:

Los poliuretanos se forman por un mecanismo en el que el agua reacciona como un aditivo formulado que contiene grupos isocianato. Al igual que en el caso de las siliconas, la molécula de agua ha de migrar al interior del adhesivo, donde se produce el enlace. Su comportamiento de curado es el mismo que el de las siliconas, pero sin liberar subproductos al medio ambiente. La velocidad de curado también depende de la humedad relativa, al igual que en el caso de la silicona. Para conseguir la mejor y más duradera adhesión, se recomienda el uso de productos apropiados de limpieza e imprimación.

Los poliuretanos tienen en general las siguientes características:

- Excelente tenacidad
- Flexibilidad, alta capacidad de alargamiento
- Excelente relleno de holgura
- Puede pintarse una vez curado
- Excelente resistencia química

4.1.6 ADHESIVOS CURADOS POR CALOR

Los adhesivos que curan por calor son principalmente monocomponentes. Un ejemplo típico de curado térmico son los epoxis. Como se vio anteriormente en la clasificación de los adhesivos constan principalmente de resina y endurecedor. La temperatura de curado depende del endurecedor. El tiempo de curado está relacionado con la temperatura de curado: cuanto más alta sea la temperatura de curado, menor será tiempo de curado y viceversa. La temperatura de curado mínima habitual es de 100°C. Normalmente, es necesaria una temperatura mínima para activar el endurecedor e iniciar la polimerización.

Aparte de los adhesivos de curado térmico puro, existen también otros adhesivos que utilizan el curado por calor como mecanismo de curado adicional. Los adhesivos anaeróbicos suelen tener un mecanismo de curado térmico adicional, que comienza a los 120°C.

Los adhesivos de curado por calor abarcan una amplia gama de propiedades y dependen en gran manera de la base química

4.1.6.1 CURADO DE LOS EPOXIS

Después de conocer los diferentes métodos de curados existentes para los diferentes adhesivos, se verá como los adhesivos epóxicos se curan y los factores que intervienen en estos.

4.1.6.2 FACTORES A CONSIDERAR PARA EL CURADO DE LAS RESINAS EPÓXICAS

El tiempo de curado

El tiempo abierto y el tiempo de curado determinan las operaciones de construcción y reparación. El tiempo abierto es el tiempo disponible para mezclar, aplicar, alisar, dar forma, montar y fijar con mordazas mientras que el tiempo de curado es el periodo de tiempo que hay que dejar pasar antes de poder retirar mordazas, lijar, etc.

Tres factores determinan el tiempo abierto y el tiempo de curado de una mezcla de epoxi:

- La velocidad de curado del endurecedor
- La temperatura del epoxi
- El volumen de la mezcla.

- **Velocidad del endurecedor**

Cada endurecedor tiene un intervalo ideal de temperatura de curado. A cualquier temperatura cada combinación de resina/endurecedor pasará por las mismas etapas de curado (Fig. 4.8), pero a diferentes velocidades. Seleccione el endurecedor que le ofrezca un tiempo de trabajo adecuado, para el trabajo que tiene que realizar, a la temperatura y en las condiciones en las que ha de completarse el trabajo. La Guía del Producto describe la vida útil y los tiempos de curado de los endurecedores. Vida útil es un término que se utiliza para comparar las velocidades de curado de diferentes endurecedores. Es el periodo de tiempo durante el cual una masa determinada de mezcla de resina y endurecedor permanece líquida a una temperatura determinada.

- **Temperatura del epoxi**

Cuanta más alta la temperatura, más rápido será el curado de una mezcla de epoxi (Fig 4.8). La temperatura a la que el epoxi se cura viene determinada por la temperatura ambiente más el calor exotérmico generado por la reacción. El epoxi se cura más rápidamente cuando la temperatura del aire es más alta.

- **El volumen de epoxi mezclado**

Al mezclar resina y endurecedor se crea una reacción exotérmica (una reacción que produce calor). Mezclar siempre lotes pequeños de epoxi porque cuanto mayor la cantidad, más calor será generado, y más corta será la vida útil y el tiempo de curado. Con un volumen mayor, se retiene más calor, lo que acelera la reacción y provoca aun más calor.

Control del tiempo de curado

Cuando hace calor utilice un endurecedor más lento para aumentar el tiempo abierto. Mezcle lotes más pequeños que pueda utilizar rápidamente o vierta la mezcla de epoxi en un recipiente con una superficie mayor.

Cuando hace frío utilice un endurecedor más rápido y emplee una pistola de aire caliente, una lámpara de calor u otra fuente de calor para calentar la resina y el endurecedor antes de mezclar o después de aplicar el epoxi.

A temperatura ambiente, es útil aplicar calor adicional cuando se requiere un curado más rápido.

Etapas de curado del epoxi

La mezcla de la resina de epoxi y el endurecedor inicia una reacción química que transforma los componentes líquidos combinados en un sólido. A medida que se cura, el epoxi pasa de un estado líquido a través de un estado gelatinoso antes de llegar a un estado sólido (Fig. 4.8)



Fig. 4.8 Al curarse, el epoxi mezclado pasa de un estado líquido a través de un estado gelatinoso a un estado sólido⁷.

- 1. Líquido - Tiempo abierto.-** El tiempo abierto también llamado el tiempo de trabajo es el periodo después de la mezcla, durante el cual la mezcla de resina/endurecedor permanece líquida, y se puede trabajar con ella y aplicarla. Tanto el ensamblaje como la colocación de dispositivos de fijación o sujeción deben hacerse durante este periodo para asegurar una unión fiable.
- 2. Gel - Fase inicial del curado.-** La mezcla pasa a la fase inicial del curado también conocida como "Fase Verde", cuando empieza a gelificarse. El epoxi ya no se puede trabajar, pasará de tener una consistencia pegajosa a tener la firmeza del caucho duro. Es posible hacer una mella con la uña del dedo pulgar. Esta capacidad va reduciéndose al acercarse la mezcla a la fase final del curado.

Sólido - Fase final del curado.- La mezcla de epoxi se ha curado a un estado sólido, este puede ser trabajado, no es posible hacer mella en la superficie con la uña del dedo pulgar. En esta fase, el epoxi ha alcanzado el 90% de su resistencia definitiva, así que pueden quitarse los dispositivos de sujeción. La mezcla seguirá curándose durante varios días a temperatura ambiente.

CAPITULO V

METODOLOGÍA DE APLICACIÓN Y PROPIEDADES DE LAS UNIONES

5.1 PROPIEDADES DE LOS ADHESIVOS ANTES DEL CURADO

5.1.1 FORMACIÓN DE LA UNIÓN ADHESIVA.

Las uniones adhesivas deben diseñarse para una aplicación concreta. Una unión adhesiva adecuada requiere:

1. Asegurar el uso de materias primas de primera calidad.
2. Cuidadoso control de calidad de los materiales a unir.
3. Realizar un exhaustivo y cuidadoso control de todas las etapas necesarias para realizar la unión adhesiva.
4. Respetar los tiempos necesarios para realizar la unión.
5. Trabajar en condiciones adecuadas (espacio, ventilación, atmósfera controlada).
6. Seguir escrupulosamente la normativa vigente tanto a nivel técnico como medioambiental.

5.1.1.1 REALIZACIÓN DE LA UNIÓN ADHESIVA

Las etapas a seguir en la realización de las uniones adhesivas son las siguientes:

1. Limpieza adecuada de los adherentes.
2. Selección del adhesivo más adecuado al sustrato y aplicación deseada.
3. Diseño adecuado de la unión adhesiva (dimensionamiento).
4. Obtención de un buen contacto interfacial (mojado) adhesivo/sustrato.
5. Creación de fuerzas de adhesión intrínsecas en la unión.
6. Control de la reticulación, curado o cristalización del adhesivo.
7. Determinar la adhesión usando un ensayo adecuado a la aplicación final de la unión adhesiva y a las sollicitaciones mecánicas que va a soportar durante su uso.
8. Determinación de la durabilidad de la unión.

5.1.1.1.1 LIMPIEZA ADECUADA DE LOS ADHERENTES

Las funciones que tiene la limpieza de los adherentes son las que siguen:

1. Asegurar un adecuado control de calidad de los adherentes.
2. Conocer la existencia de agentes desmoldeantes.
3. Realizar una limpieza previa de los adherentes mediante disolventes o detergentes, etc. Utilizar medios mecánicos en caso necesario.

5.1.1.1.2 SELECCIÓN DEL ADHESIVO

Para seleccionar el adhesivo para una aplicación deben tomarse en cuenta los siguientes factores:

1. Capacidad de adhesión inherente al sustrato.
2. Condiciones de uso de la unión adhesiva:
 - a) Esfuerzos: tensión, cizalladura, fatiga, impacto.
 - b) Factores químicos :
 - i) Externos: disolventes, ácidos, álcalis.
 - ii) Internos: migraciones de especies de bajo peso molecular, reacciones de la interfase.
3. Medioambiente de trabajo de la unión adhesiva.
4. Requisitos especiales conductividad, aislamiento térmico, color, proceso de fabricación de la unión.
5. Restricciones de producción: estabilidad de los materiales, método de aplicación del adhesivo.
6. Precio.
7. Factores de salud y seguridad.

5.1.1.1.3 OBTENCIÓN DE UN BUEN CONTACTO INTERFACIAL

La capacidad de un sustrato a ser unido a otro se mide mediante la energía superficial (γ_{sv}), la cual se obtiene a partir de medidas de ángulos de contacto (Fig. 5.1). Las superficies de los materiales tienen mayor o menor capacidad para ser unidas. Así, podemos distinguir entre:

1. Superficies con baja energía superficial (menor de 30 mJ/m²) = Apolares.
2. Superficies con alta energía superficial (entre 60 y 300 mJ/m²) = Polares.

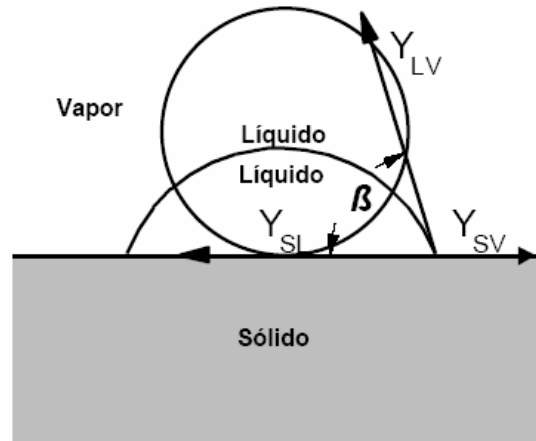


Fig.5.1 Esquema de la relación entre energía superficial de sólido, líquido y vapor en equilibrio. Donde: S_{SL} = tensión superficial de la lámina sólido-líquido; S_{SV} = tensión superficial de la lámina sólido-vapor; S_{LV} = tensión superficial de la lámina líquido-vapor.

Un adhesivo mojará a un sólido si se cumple que la energía superficial del sólido es superior a la del líquido ($\gamma_{sv} > \gamma_{lv}$).

5.1.2 TENSIÓN Y ENERGÍA SUPERFICIAL: ANGULO DE CONTACTO

5.1.2.1 TENSIÓN Y ENERGÍA SUPERFICIAL

Todos los materiales, ya sean líquidos o sólidos, tienen fuerzas superficiales. A estas fuerzas se les llama tensión superficial en los líquidos y energía superficial en los sólidos (Fig. 5.2). Cuando una gota de un líquido sobre una superficie plana produce que la tensión del líquido tiende a darle forma de montículo mientras que el sólido en cambio, trata de extenderla hacia una forma plana. Si la energía superficial del sólido es mayor que la del líquido, la gota se extenderá.

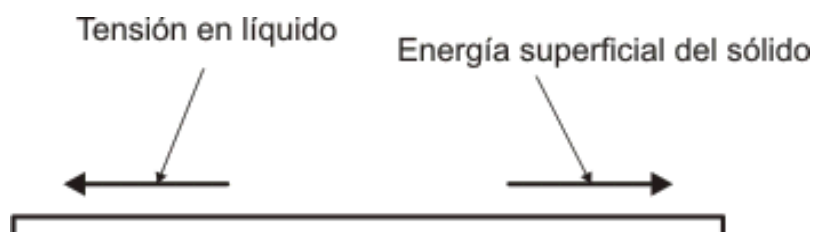


Fig. 5.2 Tensión y energía superficial

La tensión superficial es una medida directa de las fuerzas intermoleculares. La tensión en las capas superficiales es el resultado de la atracción de todo el material por la capa superficial y esta atracción tiende a reducir el número de

moléculas en la región superficial originando un aumento en la distancia intermolecular.

5.1.2.2 ÁNGULOS DE CONTACTO

Un ángulo de contacto es el ángulo que forma un líquido con un sólido en la interfase sólido/líquido/vapor (Fig. 5.3). Esto se refiere al ángulo que forma la superficie de un líquido al entrar en contacto con un sólido. El valor del ángulo de contacto depende principalmente de la relación que existe entre las fuerzas adhesivas entre el líquido y el sólido y las fuerzas cohesivas del líquido.

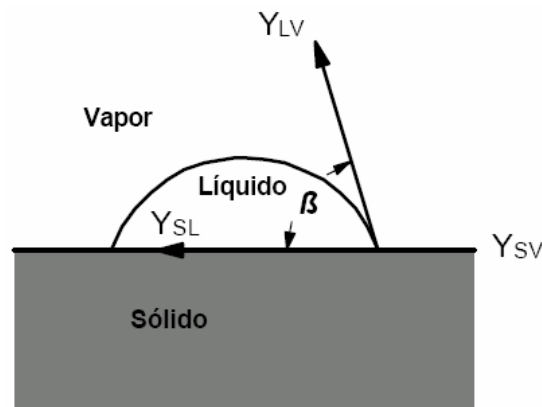


Fig.5.3 Representación del ángulo de contacto.

Se dice que un líquido moja a un sólido cuando el ángulo de contacto que forma una gota de adhesivo sobre el sólido es menor de 90° . Por el contrario, un líquido no moja al sólido cuando el ángulo es mayor de 90° (Fig. 5.4).

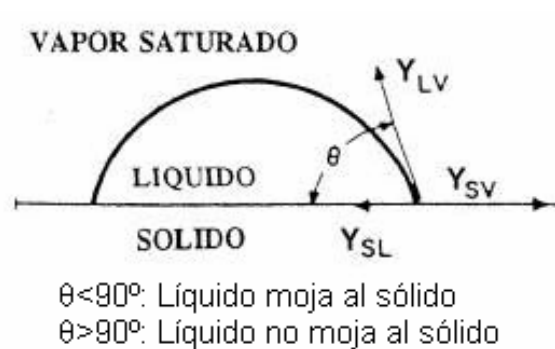


Fig.5.4 Ángulos de mojabilidad.

El mojado es pobre sobre materiales de baja energía superficial, mientras que se produce una alta mojabilidad sobre materiales de alta energía superficial. La mojabilidad es aceptable sobre sustratos de energía superficial media (Fig. 5.5).

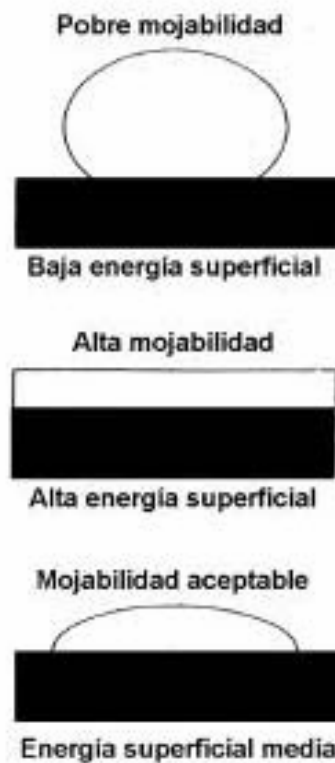


Fig. 5.5. Tipos de mojado dependiente de la energía superficial.

5.1.2.3 DETERMINACIÓN DE ÁNGULO DE CONTACTO

El método tradicional de determinación del ángulo de contacto es un goniómetro.

También mediante el uso del tensiómetro podremos:

- Determinar de una manera completamente automática la energía libre superficial de sólidos.
- Calcular automáticamente las componentes polares y de dispersión de la energía libre superficial.
- Hacer medidas de los ángulos de contacto dinámico a varias velocidades.
- Medir la adsorción y comportamiento de absorción de materiales.
- Determinar las densidades de líquidos.
- Medir la longitud de mojado de superficies sólidas y de fibras simples.
- Medir la tensión superficial de líquidos.

5.1.2.4 TIPOS DE ÁNGULOS DE CONTACTO

Se pueden distinguir diferentes tipos de ángulo de contacto:

5.1.2.4.1 ÁNGULOS DE CONTACTO TERMODINÁMICOS

Los ángulos de contacto termodinámicos son los que se obtienen de superficies lisas e indeformables, carentes de heterogeneidades superficiales. Su valor se corresponde con los cálculos termodinámicos. En la práctica, son muy pocos los ángulos que responden a este caso. La mayoría de las superficies de los sólidos son irregulares. Los ángulos de contacto que se miden son reales, pero no representan las propiedades superficiales del sólido

5.1.2.4.2 ÁNGULOS DE CONTACTO ESTÁTICOS

Se producen sobre superficies sólidas lisas, homogéneas, planas y no deformables. De este modo se establece un equilibrio estable y se realiza una medida del ángulo de contacto de equilibrio. La expansión de la gota de líquido en la superficie tiene lugar mediante un movimiento espontáneo.

La cinética de expansión del líquido en una superficie depende de los siguientes factores:

1. El grado de interacción superficial.
2. La viscosidad del líquido.
3. El volumen de la gota.
4. La temperatura.

El aparato empleado para medir ángulos de contacto estáticos es el goniómetro

5.1.2.4.3 ÁNGULOS DE CONTACTO DINÁMICOS

Los ángulos de contacto dinámicos se producen en materiales absorbentes cuando el líquido penetra en el sustrato como es el caso de fibras, películas delgadas de polímeros y metales, el ángulo de contacto cambiará continuamente como una función de tiempo. Estos se determinan cuando no es posible obtener adecuadamente los ángulos de contacto estáticos. Los sistemas de medida empleados son los tensiómetros.

5.1.2.5 ÁNGULOS DE CONTACTO Y MOJABILIDAD

La medida de los ángulos de contacto están sometidas a severas limitaciones. Los valores de ángulos de contacto deben considerarse con reserva, debido a que ciertos aspectos limitan su validez. Algunos de estos aspectos son:

1. El líquido seleccionado.

2. La rugosidad en la superficie

- El líquido seleccionado para realizar las mediciones debe cumplir los siguientes requisitos:

1. Poco volátil.
2. Poco viscoso.
3. No ser tóxico.
4. No debe reaccionar con la luz, la humedad o la temperatura.
5. No debe atacar o reaccionar con la superficie del sólido.

Los líquidos más adecuados y habituales para realizar medidas de ángulos de contacto son de tipo **Polar** como agua, **No polar** como los n-alcenos ($>C_5$) y **Polar / no polar** como la glicerina.

- Asimismo, el tipo y la homogeneidad de la rugosidad superficial determinan la validez de los ángulos de contacto por los siguientes motivos:

1. El líquido puede quedarse tapando la entrada de las heterogeneidades (Fig. 5.6).

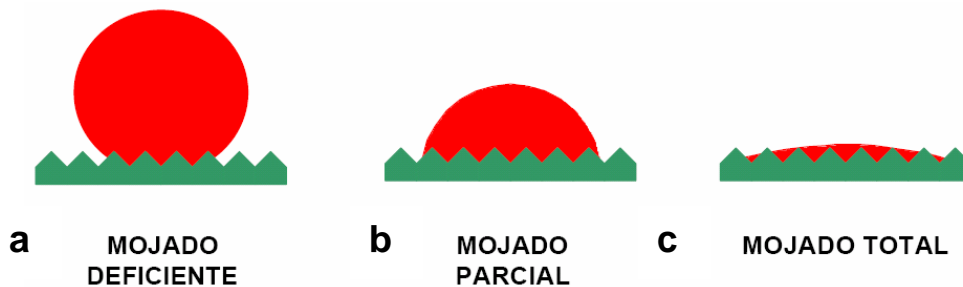


Fig. 5.6 Ángulos de contacto y mojabilidad. Ausencia de relación entre “mojado superficial” y ángulo de contacto: (a) Mojado deficiente. (b) mojado parcial. (c) mojado total¹.

2. En algunos casos no es posible distinguir entre mojabilidad parcial y mojabilidad total, aunque el ángulo de contacto sea similar (Fig. 5.7).

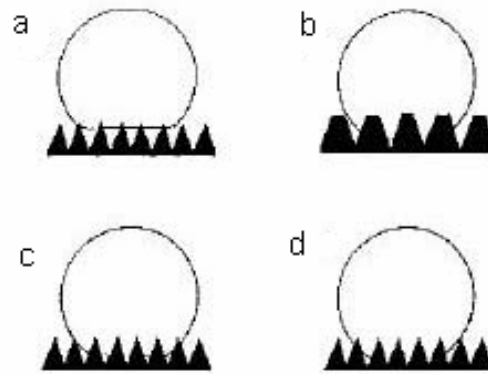


Fig.5.7 Ángulos de contacto y mojabilidad. Mojado de una superficie rugosa: (a) ángulo de contacto intrínseco = 120° - mojado parcial en el equilibrio. (b) mojado completo en el equilibrio. (c) ángulo de contacto intrínseco = 105° - mojado parcial en estado metaestable. (d) mojado completo en el equilibrio.

5.1.2.6 EFECTO DE CAPILARIDAD

Capilaridad, elevación o depresión de la superficie de un líquido en la zona de contacto con un sólido. La capilaridad, o acción capilar, depende de las fuerzas creadas por la tensión superficial y por el mojado de las paredes del sólido. Si las fuerzas de adhesión del líquido al sólido (mojado) superan a las fuerzas de cohesión dentro del líquido (tensión superficial), la superficie del líquido será cóncava y el líquido subirá por el tubo, es decir, ascenderá por encima del nivel hidrostático. Si las fuerzas de cohesión superan a las fuerzas de adhesión, la superficie del líquido será convexa y el líquido caerá por debajo del nivel hidrostático.

5.1.2.7 VISCOSIDAD

La viscosidad es la propiedad de un fluido que tiende a oponerse a su flujo cuando se le aplica una fuerza. La viscosidad que resulta como efecto combinado de la adhesión y la cohesión, es lo contrario de la fluidez.

Los fluidos de alta viscosidad presentan una cierta resistencia a fluir; los fluidos de baja viscosidad fluyen con facilidad.

La fuerza con la que una capa de fluido en movimiento arrastra consigo a las capas adyacentes de fluido determina su viscosidad, que se mide con un recipiente (viscosímetro) que tiene un orificio de tamaño conocido en el fondo. La velocidad con la que el fluido sale por el orificio es una medida de su viscosidad.

5.2 PROPIEDADES DE LAS UNIONES ADHESIVAS DESPUÉS DEL CURADO

5.2.1 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ADHESIVOS

Las formulaciones adhesivas se diseñan normalmente para lograr que las fuerzas adhesivas sean siempre superiores a las cohesivas. De este modo, conociendo las propiedades mecánicas del adhesivo se puede ver el comportamiento mecánico de una unión adhesiva. Las propiedades mecánicas de la unión pueden estudiarse en base a las propiedades mecánicas del adhesivo que la forma. El tipo de esfuerzo y el diseño de la unión tienen una gran importancia en la resistencia final.

5.2.1.1 POLÍMEROS

Los polímeros son materiales ligeros, con propiedades mecánicas variables y modificables mediante la adición de cargas, con baja conductividad eléctrica y térmica, resistentes a agentes químicos, permeabilidad variable y salvo excepciones, presentan peores propiedades mecánicas que los metales. Existe una gran cantidad de polímeros que se emplean como adhesivos y existen multitud de formas de clasificarlos. En este apartado se va a considerar el comportamiento de los adhesivos más usados en ingeniería, denominados adhesivos estructurales. Los adhesivos epoxis, acrílicos, fenólicos, poliuretanos, son algunos de los materiales poliméricos que entran dentro de esta categoría de adhesivos estructurales. El comportamiento mecánico de estos adhesivos estructurales está referido a su condición final de uso, es decir después de su proceso de "curado".

5.2.2 UNIONES ADHESIVAS

El uso de uniones adhesivas está llegando a ser cada vez más importante en espacio aéreo y otras industrias donde ya no se requieren los sujetadores tradicionales.

5.2.2.1 ESFUERZOS EN LAS UNIONES ADHESIVAS

Los esfuerzos mecánicos actúan sobre los conjuntos ensamblados como esfuerzos de tracción, de compresión, de flexión, de torsión y de cortadura, provocando así las tensiones. Las tensiones no aparecen únicamente como consecuencia directa de transmitir fuerzas o energías, sino que también por la aparición de fenómenos secundarios que acompañan a los cambios de

temperatura.

Las uniones adhesivas están sometidas generalmente a los siguientes esfuerzos: **Esfuerzos normales de tracción y de compresión.**- las fuerzas son perpendiculares al plano de la junta adhesiva y toda la fuerza está distribuida uniformemente sobre el área (Fig. 5.8). Asimismo toda la unión se encuentra cargada al mismo tiempo y no existe ninguna zona de la unión que esté más o menos cargada que otra. Aunque a primera vista los esfuerzos de tracción parecen muy favorables para la unión adhesiva, pueden llegar a ser muy destructivos si se producen desviaciones del diseño que puedan provocar la desorientación de estas fuerzas generando esfuerzos de desgarro.

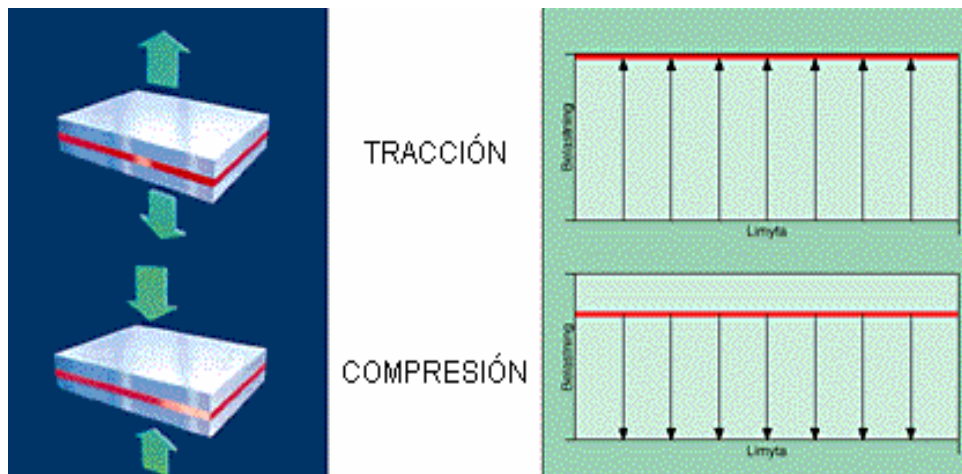


Fig.5.8 Esfuerzos de tracción y compresión⁶.

Esfuerzos de cortadura o cizalla.- en los esfuerzos de cizalla las tensiones también están uniformemente distribuidas sobre la unión adhesiva y todo el adhesivo está cargado simultáneamente (Fig. 5.9). Sin embargo las tensiones son paralelas al plano de la unión.

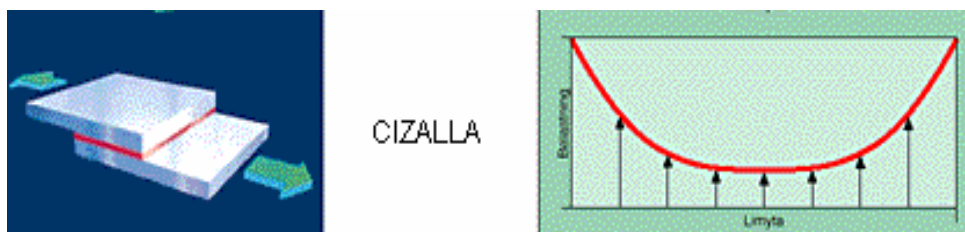


Fig.5.9 Esfuerzos de cortadura o cizalla⁶.

Esfuerzos de desgarro o hendimiento.- en este tipo de esfuerzos la fuerza no está distribuida uniformemente a lo largo de la unión adhesiva, además no todo el

adhesivo trabaja al mismo tiempo (Fig. 5.10). Como están las fuerzas aplicadas una parte de la unión está sometida a una tensión elevada mientras que otra zona casi no trabaja. Este tipo de esfuerzos se debe evitar siempre que sea posible ya que la unión presenta una resistencia inferior que en el caso de los esfuerzos de cizalla y los esfuerzos normales.



Fig.5.10 Esfuerzos de desgarro o hendimiento⁶.

Esfuerzos de pelado.- en los esfuerzos de pelado la tensión está localizada en una línea muy fina en el borde de la junta adhesiva (Fig. 5.11). Este esfuerzo generalmente aparece cuando uno o los dos substratos son flexibles. Se debe evitar siempre la aparición de este tipo de esfuerzos ya que son los más perjudiciales para las uniones adhesivas.



Fig.5.11 Esfuerzos de pelado⁶.

Cuando sea imposible evitar la aparición de esfuerzos de pelado por motivos de diseño, una posible solución para optimizar la unión sería emplear un adhesivo elástico, también puede modificar el diseño de la junta que le permita evitar los de pelado por otras más favorables (Fig. 5.12).

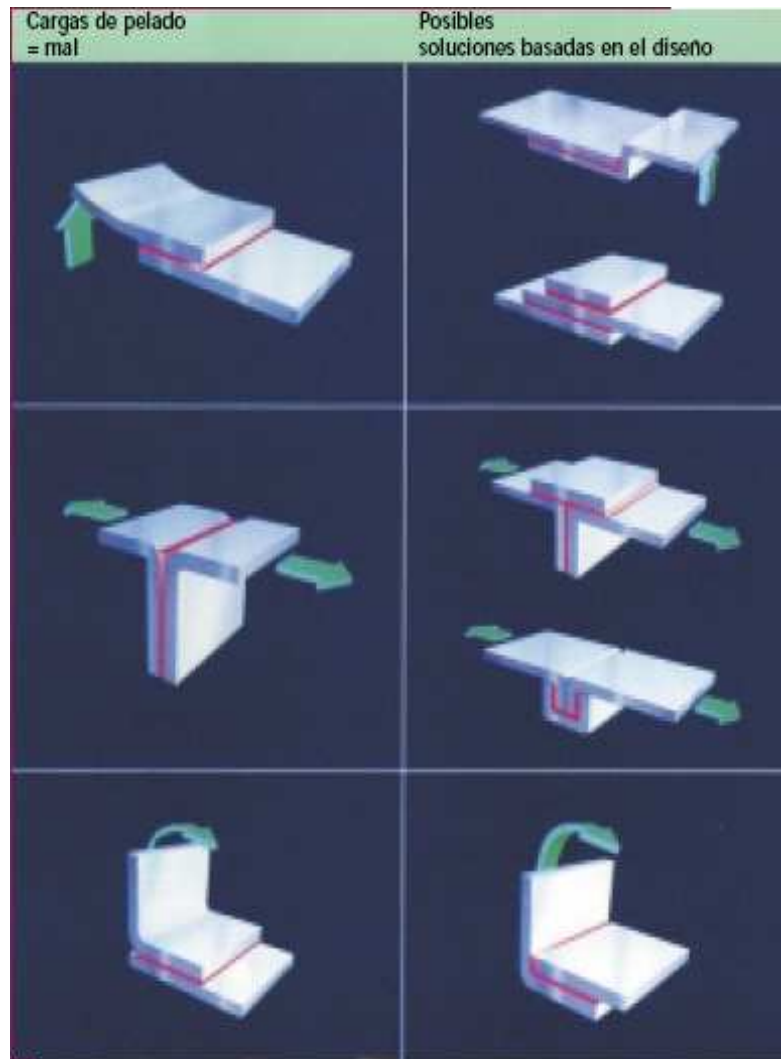


Fig.5.12 Modificaciones de diseño que evitan o mejoran las cargas de pelado⁶.

También los esfuerzos mecánicos se clasifican según su valor y duración en:

- Esfuerzos transitorios.
- Esfuerzos estáticos o permanentes.
- Esfuerzos dinámicos.
- Esfuerzos combinados.

Esfuerzos transitorios.- los esfuerzos transitorios son consecuencia de un incremento único del esfuerzo hasta una carga máxima. Se emplean por los diseñadores para calcular la resistencia nominal de los adhesivos. Aparecen rara vez en la práctica.

Esfuerzos estáticos o permanentes.- los esfuerzos estáticos o permanentes son esfuerzos constantes que se prolongan a lo largo del tiempo. Si este esfuerzo

actúa en una dirección durante un tiempo prolongado, puede producirse un fenómeno de fluencia, este fenómeno conduce a un desplazamiento relativo, débil pero constante en los elementos de unión sin necesidad de incrementar la fuerza aplicada, este desplazamiento progresa hasta que se llega a la rotura de la unión adhesiva. La cohesión irá disminuyendo progresivamente en el interior de la unión adhesiva, bajo la acción de una fuerza hasta que las moléculas comienzan a deslizar las unas sobre las otras. La fluencia depende fundamental de la temperatura.

Los adhesivos termoestables tienen menor tendencia a fluir que los termoplásticos por la reticulación, este fenómeno puede eliminarse escogiendo un adhesivo adecuado, el buen diseño permite prevenir el fenómeno de fluencia o, al menos, reducirlo a límites admisibles. La fluencia representa un comportamiento del material, el cuál no sólo aparece en los materiales poliméricos y los adhesivos, sino también en los metales aunque de forma menos acentuada.

Esfuerzos dinámicos.- Podemos distinguir dos tipos de esfuerzos dinámicos:

- Regulares (vibratorios).
- Irregulares (impactos).

Esfuerzos Regulares.- el adhesivo tiene que absorber la energía de deformación (vibraciones). Esto puede provocar la fatiga del material, la cual puede desembocar en el fallo de la unión adhesiva. Cuando se trata de esfuerzos regulares o repetidos periódicamente y acompañados de ciclos bruscos, la elección es más complicada. En general, la evolución de los esfuerzos no se conoce con exactitud y el adhesivo puede reaccionar de diferente manera dependiendo de las variaciones bruscas que puedan experimentar los esfuerzos.

Esfuerzos Irregulares.- en el caso de impacto, las consecuencias sobre una determinada unión adhesiva dependen directamente de la naturaleza de los substratos, las deformaciones que se puedan provocar sobre los substratos.

El impacto produce una onda de compresión que se transmite por las diferentes partes de la unión adhesiva, dependiendo de la capacidad de absorción de energía de los materiales que componen los substratos. Los materiales adhesivos son más resistentes al impacto, los polímeros tenaces o elásticos son capaces de absorber la energía del impacto sin que se produzca la rotura. Los polímeros rígidos por el contrario se romperán frente a impactos de suficiente energía. No

debemos olvidar que dependemos mucho de los sustratos pues si tenemos sustratos metálicos se transmiten en su totalidad las vibraciones provocadas por el impacto, por lo contrario al emplear materiales poliméricos tenaces o elastómeros absorben las energías producida por el impacto.

Esfuerzos combinados.- La mayor parte de los esfuerzos son esfuerzos combinados. Por ejemplo, el esfuerzo mecánico está generalmente unido a una o varias influencias climatológicas, normalmente sin consecuencias, salvo en casos extremos. A largo plazo, tales influencias contribuyen al envejecimiento del ensamblaje, el cual engloba todos los procesos físicos, químicos y mecánicos al margen de las cargas propiamente dichas. El conjunto de estos fenómenos conduce a modificaciones e incluso a la destrucción de la capa de adhesivo.

5.2.2.2 MECÁNICA DE LA FRACTURA

El fallo de un adhesivo puede estudiarse como el proceso de fractura que se deriva de la propagación de una grieta a lo largo de la intercara entre las fases adherentes. El fallo también depende mucho de la abertura “modo” de la junta.

5.2.2.3 MODOS DE LA FALLO

- **El modo I (desgarro)** corresponde al modo normal de separación de las caras de la grieta bajo la acción de tensiones normales (Fig. 5.13).
- **El modo II (cortadura)** se refiere al desplazamiento de los labios bajo la acción de tensiones de corte perpendiculares al frente de grieta. Este es típicamente el modo para el cual el pegamento exhibe la resistencia más alta a la fractura (Fig. 5.13).
- **El modo III (arranque)** también se produce por deslizamiento y cizalladura de los labios de la fisura, en una dirección paralela al frente de la grieta (Fig. 5.13).

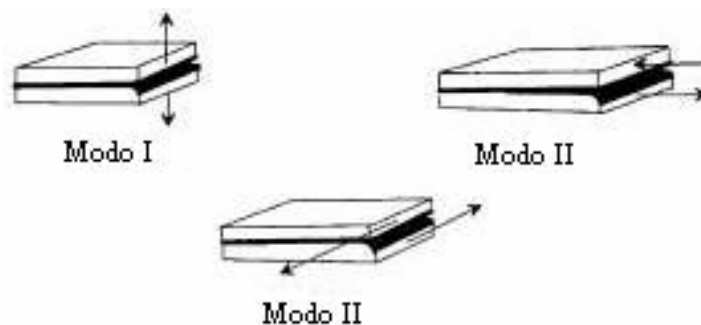


Fig.5.13 Esquema de los tres modos de fractura: Modo I (desgarro); Modo II (cortadura); Modo III (arranque).

El parámetro crítico de fractura corresponde a una propiedad interior y de los esfuerzos. Para el modo de fallo cohesivo es una propiedad del sólido y para el modo de fallo adhesivo es una propiedad de las fases adherentes (Fig. 5.14). Normalmente el parámetro crítico depende de la velocidad de sollicitación y de la temperatura.

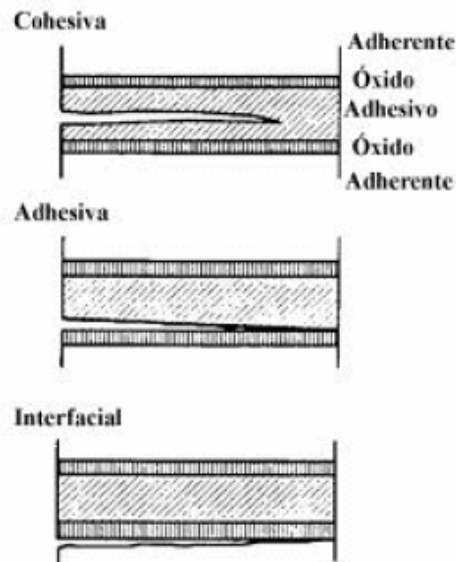


Fig. 5.14 Localizaciones posibles de la fisura de una unión adhesiva.

5.2.2.4 REALIZACIÓN DE LA JUNTA ADHESIVA

A la hora de realizar las uniones adhesivas la forma, tamaño y grosor de los sustratos determina el tipo de adhesivo que es más conveniente utilizar. También tenemos que tomar en cuenta las propiedades como la resistencia a cortadura, la resistencia a impacto, la pérdida de resistencia por envejecimiento térmico, las tolerancias de montaje (holguras), la resistencia a distintas condiciones ambientales y a disolventes, los tiempos de manipulación requerido, el tipo de proceso de limpieza, la preparación superficial.

El diseño y la elección del adhesivo deben acomodarse a la aplicación, evitando el posible sobredimensionamiento de la junta adhesiva. En cualquier caso, el diseño adecuado de la unión adhesiva debe conseguir minimizar la propagación de fracturas que se puedan iniciar en la unión adhesiva. Para obtener una buena unión adhesiva, debe producirse un descenso de energía libre cuando el adhesivo y sustrato se ponen en contacto, por lo que es necesario que el adhesivo moje perfectamente la superficie del material.

Se debe evitar en lo durante el diseño en lo posible esfuerzos que no sean de tracción o de cortadura en las uniones adhesivas, el esfuerzo de pelado se deben eliminar si es posible o en caso de no poderlo hacer se lo debe dejar en lo menos apreciable en las juntas pues es el mas perjudicial.

5.2.2.5 TIPOS DE UNIONES ADHESIVAS

En la figura 5.15 se muestra algunos tipos más comunes de uniones para lámina metálica y sus características.


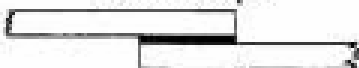
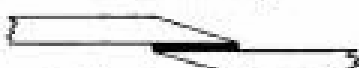

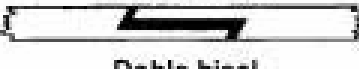







	Malo
Unión a tope	
	Bueno y práctico
Unión a solapa	
	Muy bueno y normalmente práctico
Unión simple biselada	
	Muy bueno y normalmente práctico
Unión en bisel	
	Bueno pero difícil de mecanizar
Doble bisel	
	Bueno y práctico
Unión en solapa plegado	
	Regular, a veces deseable
Cubierta	
	Bueno, a veces deseable
Doble cubierta	
	Bueno, pero caro de mecanizar
Doble cubierta a ras	
	Muy bueno pero de difícil producción
Doble cubierta biselada	
	Bueno aunque requiere mecanizado
Medio solapa o doble tope	
	Bueno aunque es difícil equilibrar las capas
Solapa doble	

Fig. 5.15 Tipos más comunes de uniones para lámina metálica⁵

5.2.2.5.1 UNIONES A SOLAPE O TRASLAPADAS

Las uniones adhesivas solapadas son las que más se encuentran en las diferentes aplicaciones. Este tipo de unión es de gran utilidad y existen multitud de soluciones para mejorar la distribución de tensiones. Como regla práctica no conviene solapar más de 25 a 30 mm, ya que no se consigue un incremento de la resistencia de la unión. Entre las más utilizadas están:

- La unión de **traslazo sencillo** (Fig. 5.16) es tal vez la que más se usa y resulta adecuada para muchas aplicaciones.
- La unión de **traslazo biselado** (Fig. 5.16) experimenta menor concentración de esfuerzos en la periferia de la unión en virtud de los bordes biselados. Los bordes delgados de los adherendos se deforman cuando la unión gira debido a una carga, y esto minimiza la acción de pelado.
- Si la resistencia mecánica de la unión es crítica y los componentes son lo bastante delgados como para doblarse bajo una carga, es mejor usar una unión de **traslazo traqueado** (Fig. 5.16). La carga se alinea perpendicular a la unión y paralela al plano de adhesión, con lo que se minimiza la probabilidad de que haya carga de hendimiento.

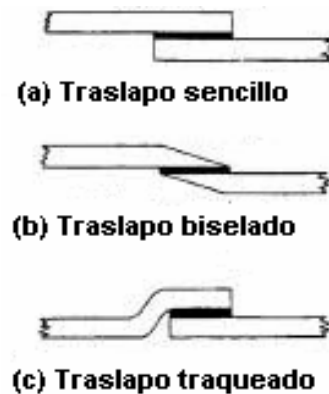


Fig.5.16 Tipos de uniones solapadas más utilizadas².

La resistencia a la cortadura es directamente proporcional a la anchura de solapamiento. Sin embargo, la relación entre longitud de solapamiento y resistencia a cizalla no es lineal, aunque se produce un incremento. Esto es debido a que las tensiones se acumulan en los extremos de la zona de solapamiento (Fig. 5.17).

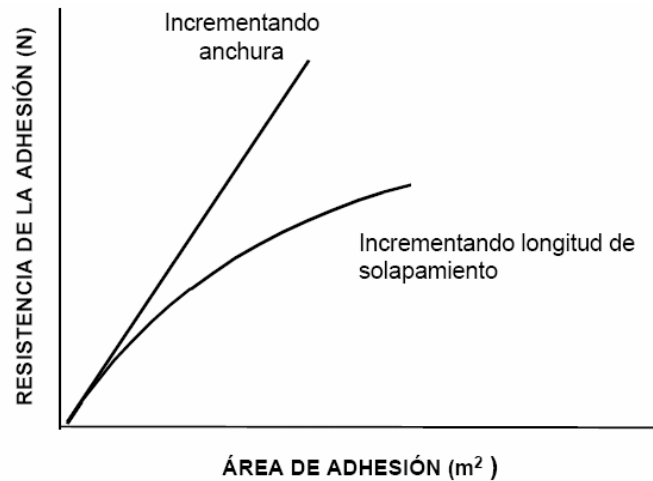


Fig.5.17 Variación de la resistencia de la unión adhesiva incrementando anchura y longitud de solapamiento.

La longitud y la anchura no son las únicas variables geométricas que influyen en la resistencia de la adhesión. La carga a partir de la cual un sustrato comenzará a deformarse plásticamente depende de su rigidez y grosor. Sucede con frecuencia que la resistencia de adhesión de dos piezas delgadas supera el límite elástico y la resistencia última de los sustratos (Fig. 5.18).

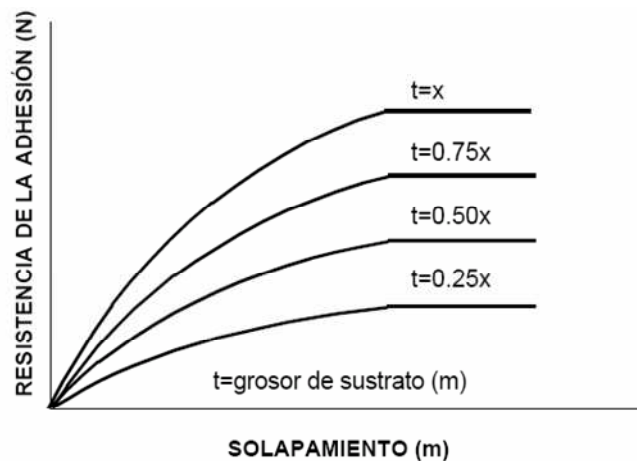


Fig.5.18 Variación de la resistencia de la unión adhesiva frente al solapamiento para diferentes grosores¹.

Bruine y Houwink analizaron la relación entre grosor, solapamiento y tensión, definiendo como "factor de junta" la relación entre la raíz cuadrada del grosor y la longitud de solapamiento (Fig. 5.19).

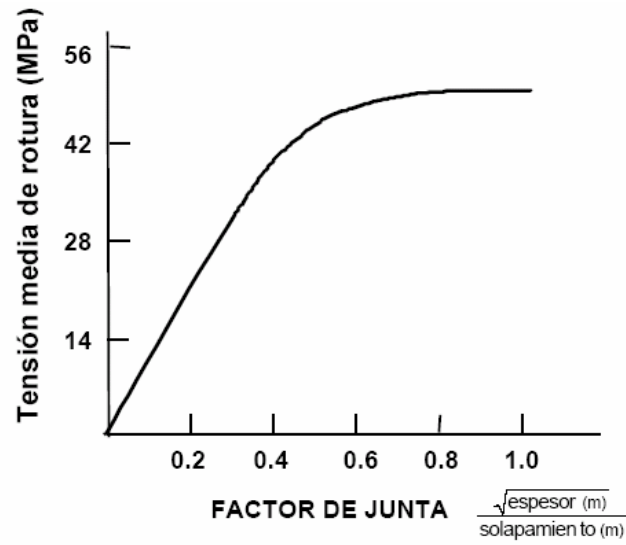


Fig.5.19 Efecto del “factor de junta sobre la resistencia de las uniones adhesivas”¹.

En las uniones a solape también podemos ver esfuerzos de pelado como se ve en la figura 5.20 en la que podemos observar tres etapas:

- Carga nula.
- Carga en la unión.
- Tensión de pelado.

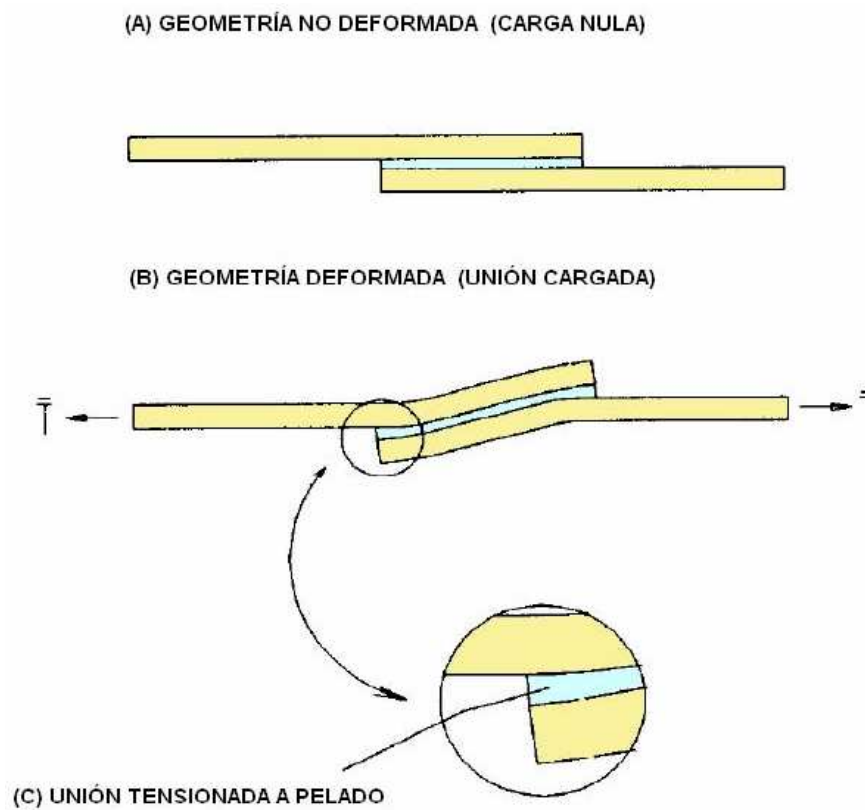


Fig. 5.20 Unión adhesiva tensionada a pelado

En las uniones solapadas simples, los fallos a flexión de los adherentes pueden ocurrir debido a momentos elevados en los extremos del solape (Fig. 5.21).

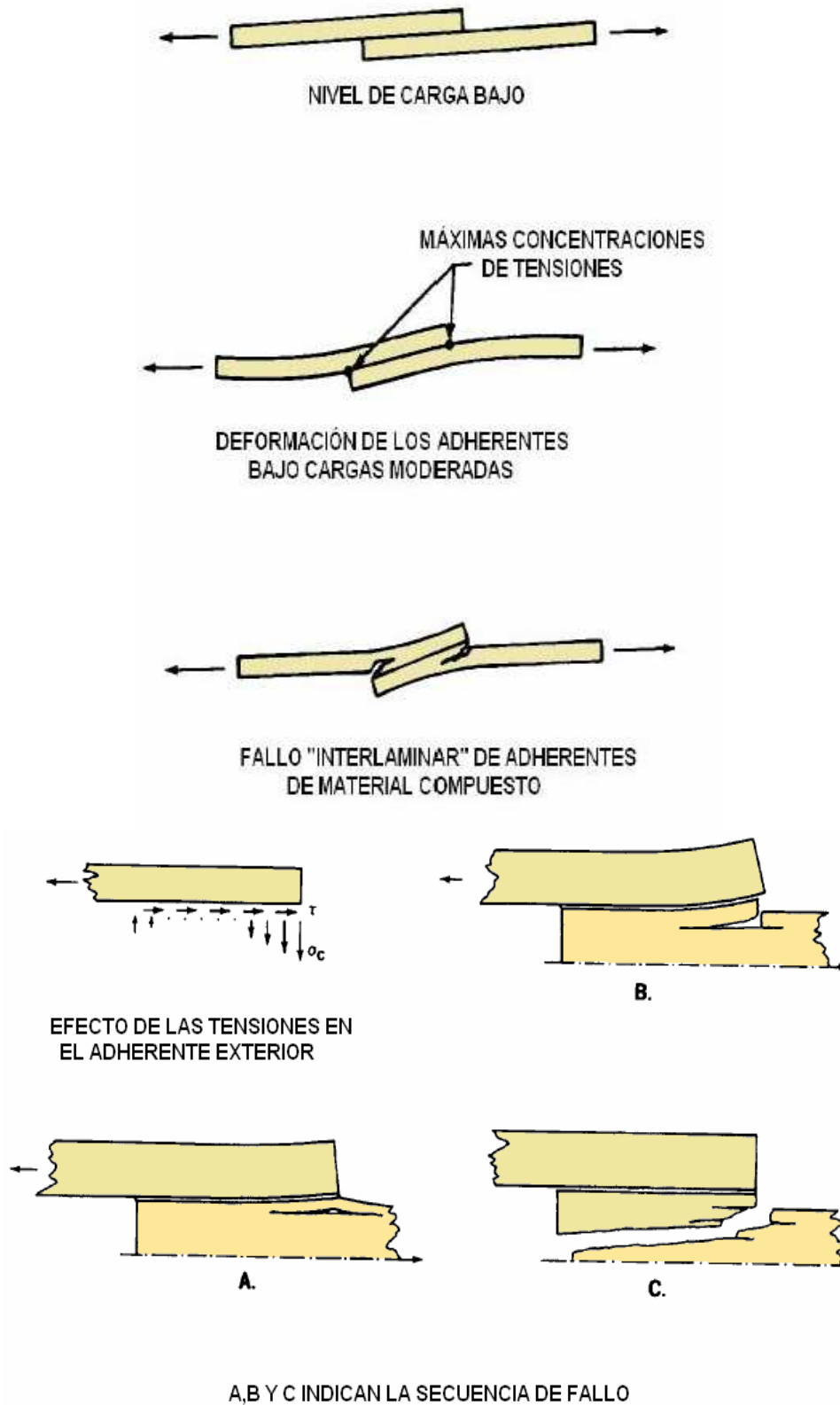


Fig. 5.21. Secuencia de fallo del adherente para una unión a solape simple.

5.2.2.5.2 UNIONES A TOPE

No se recomiendan los diseños de unión a tope para láminas ya que pueden aparecer cargas de hendimiento o pelado si la carga aplicada es excéntrica.

Las uniones a tope para tubos (Fig. 5.22) presentan buenas resistencia frente a esfuerzos de tracción y aún mejores frente a los de compresión.

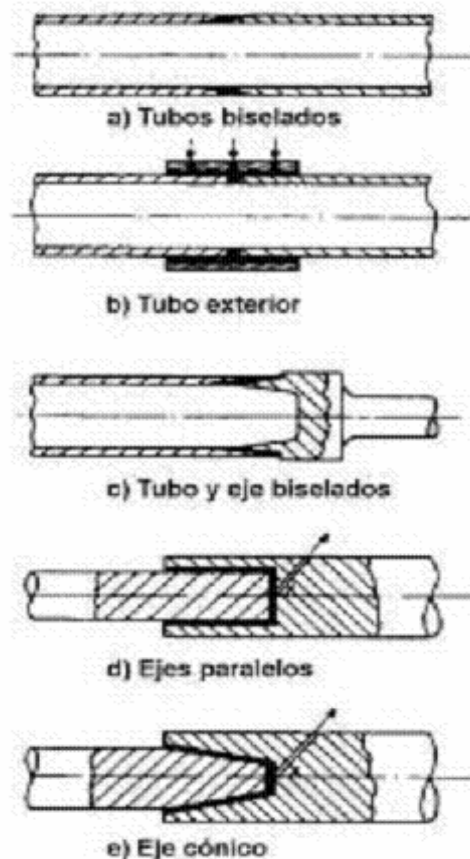


Fig. 5.22. Tipos de uniones a tope para tubos⁵

Estas uniones presentan algunos problemas por que generan con facilidad esfuerzos de desgarro si se produce un desalineamiento de las fuerzas respecto al eje de revolución para evitar esto se suelen emplear chaflanes, canales y escalones para facilitar la inserción de ambas piezas, aumentando así el área de contacto e incrementando a su vez la resistencia al desgarro por el impedimento mecánico que se produce. Otro problema que tienen estas uniones es la imposibilidad de inspeccionar la unión, ya que el interior es inaccesible.

5.2.2.5.3 UNIONES EN T Y UNIONES EN ESQUINA

Los diseños para juntas en esquinas y uniones en "T", tienen como miembros de refuerzo biseles que requiere un análisis de costos para determinar si el

mejoramiento de las propiedades de la unión los justifica. Algunas de estas uniones requieren ranuras maquinadas o aditamentos complejos en las esquinas que no tienen mucho interés en los diseños de lámina metálica.

En uniones en "T" los esfuerzos transversales (T), generan esfuerzos de desgarro y de pelado mientras que las fuerzas normales (N) generan los esfuerzos de compresión y provocan el pandeo de la chapa y la aparición de momentos flectores sobre ella. En el figura 5.23 encontramos algunas mejoras para las uniones en "T" y esquinados.

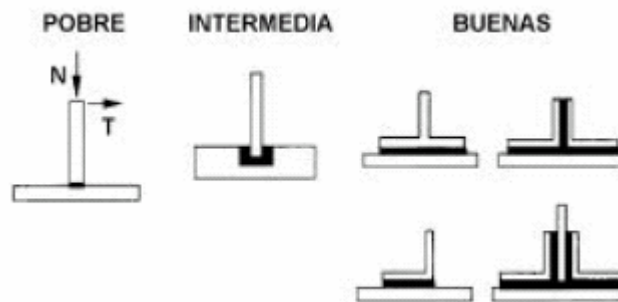


Fig.5.23 Mejoras de diseño para uniones en T⁵.

En general todos los diseños en este tipo de uniones se dirigen al empleo de escuadras y elementos que aumenten en área de la unión, así como la rigidez del conjunto, a fin de evitar la flexión en el caso de esfuerzos transversales.

En la figura 5.24 podemos observar algunas soluciones de diseño a los problemas de ensamblaje que pueden darse en cada caso práctico.

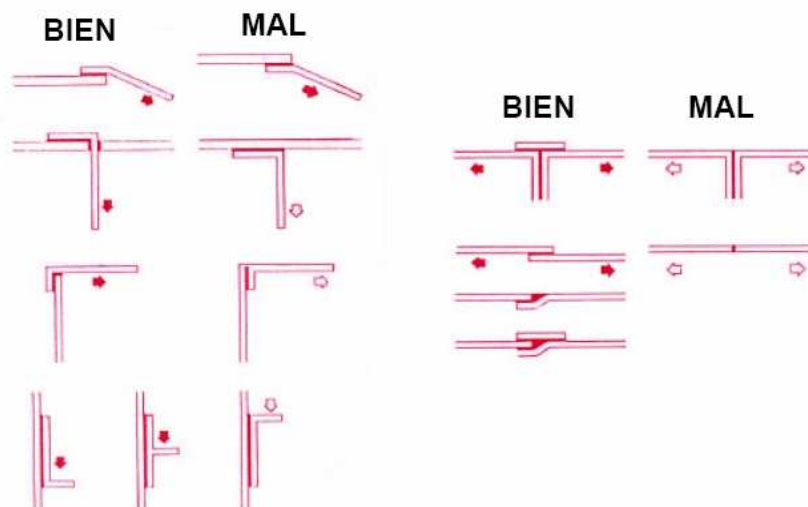


Fig.5.24 Soluciones de diseño para ensamblajes adheridos¹.

Las consideraciones más importantes que se debe tener en cuenta en el diseño de las uniones son:

1. Siempre que sea posible se debe limitar el espesor de los adherentes o utilizar configuraciones más sofisticadas como las escalonadas o por ensamble, para asegurar que el fallo del adherente ocurrirá antes que el fallo del adhesivo.
2. Se deben diseñar las uniones para la minimización de esfuerzos de pelado, tanto manteniendo espesores muy delgados de los adherentes, como utilizando secciones variables para adherentes de espesores intermedios.
3. Es esencial que se practiquen preparaciones superficiales adecuadas para asegurar que la junta entre los adherentes y el adhesivo no falle.

5.3 ENSAYOS EN UNIONES ADHESIVAS

Después de conocer las propiedades de los adhesivos antes y después del curado ahora se describirán algunos de los ensayos más comunes para los adhesivos, basados en las normas más utilizadas

5.3.1 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA UNIONES ADHESIVAS

Los ensayos no destructivos (END) en los adhesivos no es nada nuevo, estos son usados desde los principios de los años 70. La finalidad de estos ensayos es detectar los defectos en la unión, determinar las propiedades del adhesivo y finalmente, asegurar el rendimiento de la junta adhesiva. El método END más sensible y fiable para uniones adhesivas se basa en los ultrasonidos e infrarrojos. Cuando los ultrasonidos están limitados se emplean otros métodos END como la holografía, la detección térmica entre otras. En estos días los END se utilizan rutinariamente en la industria aeroespacial y también se está utilizando en las industrias automotoras y otras.

Los métodos que puedan emplearse con una aplicación específica dependerán de uno o más de los siguientes factores:

1. Diseño y configuración de la estructura.
2. Materiales de construcción.
3. Tipos de uniones.
4. Espesor de material.
5. Tipo de adhesivo.

6. Accesibilidad de las uniones.

Hay varias ideas falsas comunes sobre END como son costosos y por tanto no es conveniente para las operaciones del alto volumen. Realmente, los ensayos no destructivos (END) pueden ser más económicos que los ensayos destructivos.

Los métodos principales son: la inspección visual, test de la moneda. Una supervisión física equipada más avanzada como la inspección ultrasónica o radiográfica que se utiliza cuando la circunstancias lo requiera, estos ensayos lo veremos mas adelante detalladamente.

Un método universal de END para evaluar las juntas adhesivas no es actualmente disponible. Lo ideal para describir o identificar de forma fácilmente comprensible los ensayos empleados para determinar las propiedades de la adhesión y del adhesivo a emplear nos debemos basar en los ensayos normalizados de la ASTM, UNE e ISO (Anexo A).

5.3.1.1 DESCRIPCIÓN DE LOS DEFECTOS

Existe una enorme variedad de grietas o discontinuidades que pueden aparecer en las juntas adheridas.

En las uniones metal-metal, los defectos son normalmente huecos o despegues (Fig. 5.25). Los defectos se deben a errores cometidos durante el pretratamiento de los adherentes, antes del proceso real de ensamblaje. Estos defectos pueden ser detectables mediante métodos de ensayo no destructivos (END).

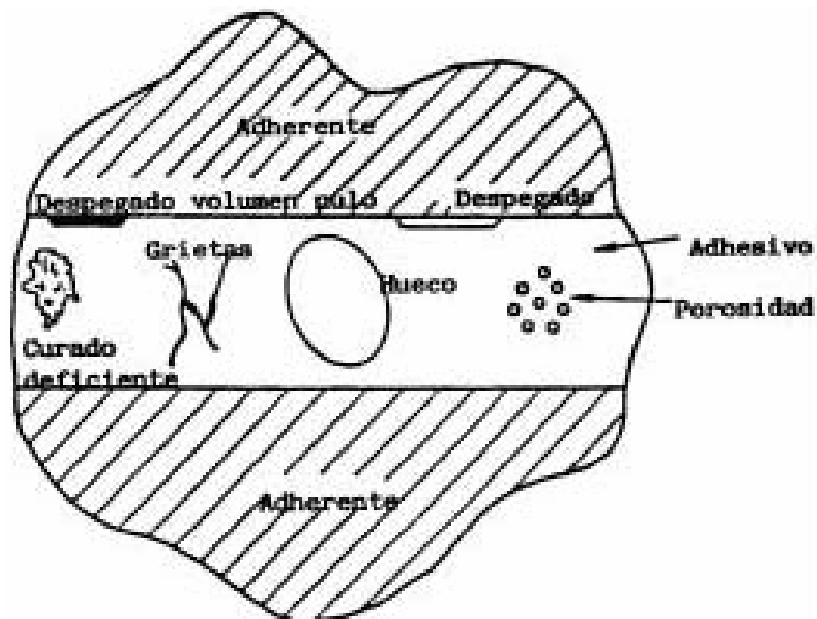


Fig. 5.25 Defectos típicos en uniones adhesivas.

Los defectos en los adhesivos curados pueden ser los siguientes:

- 1 Adhesivo escasamente curado o adhesivo excesivamente curado.
- 2 Exceso de espesor de adhesivo por insuficiente presión durante el ensamblaje o falta de coincidencia de los sustratos. Resulta en la aparición de porosidades o huecos.
- 3 Adhesivo espumoso o poroso producido por un curado excesivamente rápido.

Pérdida de la durabilidad a largo plazo por presencia de excesiva humedad en el adhesivo antes de su curado.

5.3.1.2 APLICACIONES Y LIMITACIONES DE END EN LAS UNIONES ADHESIVAS

Existen multitud de métodos END disponibles para la inspección de juntas adhesivas. A continuación se describirán algunos ensayos empleados para la inspección de juntas adhesivas.

5.3.1.2.1 INSPECCIÓN VISUAL

La inspección visual se aplica tanto a la evaluación de los materiales, como la comprobación del proceso de curado ha sido correcto en la presión, la temperatura, el tiempo, etc. Para este ensayo se necesita de mucha experiencia para poder observar los diferentes defectos que se pueden producir en las juntas adhesivas.

Este ensayo nos permite revelar defectos como: desalineamiento de piezas, áreas y vacíos sin llenar, fracturas en el metal o en el adhesivo, despegues, delaminaciones, impactos, inclusión de elementos extraños, aparición de burbujas o cualquier otro defecto mecánico.

La tabla 5.1 muestra algunos defectos detectados visualmente, su causa y sus posibles soluciones.

Defecto	Causa	Solución
No hay aspecto del pegamento alrededor de los bordes de la línea en enlace del empalme o el pegamento es demasiado grueso	La presión con la abrazadera demasiado baja	Aumentar la presión. Comprobar que las abrazaderas estén asentando correctamente
	Empalme hambriento	Aplicar más pegamento
	Temperatura de curado demasiado baja	Utilizar la temperatura más arriba de curado. Comprobar que la temperatura esté sobre el mínimo especificado.
Línea en enlace del pegamento demasiado fina	La presión con la abrazadera demasiada alta	Disminuir la presión
	Temperatura de curado demasiado alto	Utilizar la temperatura más baja de curado
	Empalme hambriento	Aplicar más pegamento
Roturas del adhesivo fácilmente lejos del sustrato	Tratamiento superficial incorrecto	Comprobar el proceso; utilizar los trapos solventes limpios. Cerciorarte de que las piezas limpiadas no estén tocadas antes de realizar la junta.
El adhesivo es excesivamente poroso	Exceso del aire se revuelve en el pegamento	Realizar el vacío desgasificante del pegamento antes de su uso
	Solvente no está totalmente seco antes de realizar la junta	Aumentar el tiempo de secado o la temperatura
	El material adhesivo contiene componentes volátiles	Consejo de la búsqueda del fabricante
El adhesivo puede ser ablandado calentando o limpiando con el solvente	Pegamento no curado correctamente	Utilizar la temperatura más arriba de curado o prolongar el tiempo de curado. La temperatura y el tiempo deben estar sobre el mínimo especificado. Comprobar la mezcla.

Tabla 5.1 Inspección visual para los enlaces culpables

5.3.1.2.2 INSPECCIÓN MEDIANTE ULTRASONIDOS.

Los métodos ultrasónicos son actualmente la técnica más popular de END para el uso en empalmes adhesivos. El ensayo ultrasónico mide la respuesta del empalme endurecido a través de energía ultrasónica de baja potencia. Los pulsos cortos de la energía ultrasónica se pueden introducir en un lado de la estructura y detectar en el otro lado.

Se emplean ultrasonidos entre 2.25 y 10 Mhz. A continuación se mencionan las técnicas existentes:

1. Eco de un pulso de contacto: se emplea el mismo transductor para emitir y detectar la reflexión del pulso de ultrasonidos [(Fig. 5.26 (a))].
2. Transmisión por contacto: el detector del pulso se coloca al lado opuesto del emisor del pulso de ultrasonidos [Fig. 5.26 (b)].
3. Método de inmersión: el ensamblaje se sumerge en un tanque de agua. El pulso se detecta por reflexión, por transmisión o empleando una placa reflectora [Fig. 5.26 (c, d, e)].

La mayor limitación de los métodos de ultrasonidos es la aparición de interferencias debidas al espesor del adhesivo o de los sustratos, y que pueden hacer creer al usuario que existen despegues donde no los hay.

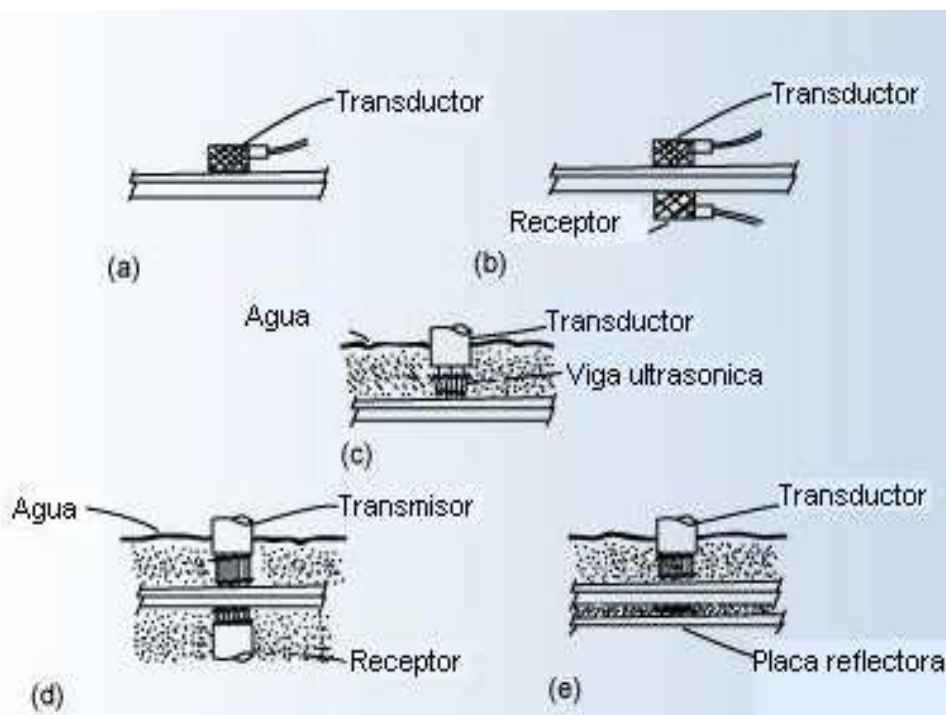


Fig. 5.26 Técnicas de la inspección ultrasónica de END en adhesivos.

Las técnicas de eco de un pulso son quizás las más fáciles de utilizar en la

producción. Uno de los más viejos y más conocidos sistemas de prueba ultrasónicos para NDT es el probador del enlace de Fokker. Este método utiliza un método de la resonancia de la frecuencia de barrido de inspección ultrasónica.

5.3.1.2.3 TEST DE LA MONEDA O DE GOLPECITOS.

Uno de los primeros ensayos no destructivos era el test de la moneda o de golpecitos que evaluaba la calidad de un empalme adhesivo golpeando ligeramente en el empalme y determinando el tono que resultaba. Las diferencias del tono indican inconsistencias en el empalme. Esto podía ser debido a la curación escasa, a los vacíos o a otros problemas. El golpear ligeramente un empalme con un martillo y una moneda, los tonos claros agudos indican que el pegamento está presente y que adhiere al sustrato un cierto grado; los tonos huecos embotados indican esto normalmente relacionados con despegues grandes (del orden de 38mm). Este ensayo no permite detectar defectos menores o aquéllos que aparezcan en uniones adhesivas internas, como en el caso de multicapas, tampoco ninguna información sobre la presencia o la naturaleza de una capa débil.

El éxito de la prueba del golpecito depende de la habilidad y de la experiencia del operador, del nivel de ruidos, y del tipo de estructura.

5.3.1.2.4 RADIOGRAFÍA DE RAYOS-X

Es un método relativamente caro y requiere una experiencia más experta que el ensayo ultrasónico, pero que permite realizar inspecciones en un solo paso. Es capaz de detectar discontinuidades, inclusiones, las grietas, variaciones de densidad y variaciones de absorción de rayos-X en los materiales. Es especialmente ventajoso para ciertos adhesivos que son opacos a los rayos-X, por lo que permite una detección rápida de los huecos y las porosidades.

5.3.1.2.5 EMISIÓN ACÚSTICA

En algunos casos, las técnicas de emisión acústica son más efectivas que los ultrasonidos o los rayos-X convencionales para detectar corrosión interna en los metales y adhesivo degradado por la humedad. El principio del método es la detección de ondas acústicas o mecánicas producidas por transformaciones físicas o mecánicas de los materiales. En lo que se refiere a la detección de corrosión en la línea de unión, sólo es posible si no se ha eliminado el agua del área.

5.3.1.2.6 MÉTODOS END ESPECIALES

Existe una gran variedad de métodos END, entre los cuales podemos mencionar:

1. Inspección térmica o infrarroja
2. Inspección termográfica
3. Interferometría holográfica
4. Ensayos de estanqueidad
5. Holografía acústica

Luego de conocer los principales END ahora se estudiara también algunos de los ensayos destructivos.

5.3.2 ENSAYOS DESTRUCTIVOS PARA LA EVALUACIÓN DE LAS UNIONES ADHESIVAS

Hay una variedad de métodos de ensayos para los pegamentos. Estas pruebas se han desarrollado para una variedad de necesidades que se extendían tales como: tensión, flexión, fatiga, resistencia al impacto, viscosidad o “tachuela”, También para estos ensayos debemos basar en los ensayos normalizados de la ASTM (American Society for Testing and Materials), la ISO (International Standards Organization) y de la UNE. (Anexo1).

Los resultados medidos de estas pruebas tienen gran importancia significativa. Por que influyen en la selección de un sistema adhesivo, se utilizan para optimizar la formulación, procesos y son generalmente los que nos dan la factibilidad de que el adhesivo es una buena implementación para el futuro.

5.3.2.1 APLICACIONES Y LIMITACIONES DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS EN LAS UNIONES ADHESIVAS

Existen multitud de ensayos destructivos disponibles para la inspección de juntas adhesivas. A continuación se describirán algunos ensayos empleados para la inspección de juntas adhesivas y en las que vamos a someter a nuestros adhesivos epóxicos basándonos en las normas ASTM.

5.3.2.1.1 TRACCIÓN

Este ensayo nos permite un análisis que se puede utilizar para indicar cuando un empalme fallará bajo diversas condiciones de carga. Puesto que los pegamentos son generalmente materiales resistentes, pueden sostener tensiones grandes

antes de falla y bajo estas condiciones.

La geometría de la probeta y los demás aspectos para la realización de este ensayo se vera en la norma ASTM D2095 – 72 (Anexo B y Fig. 5.27)

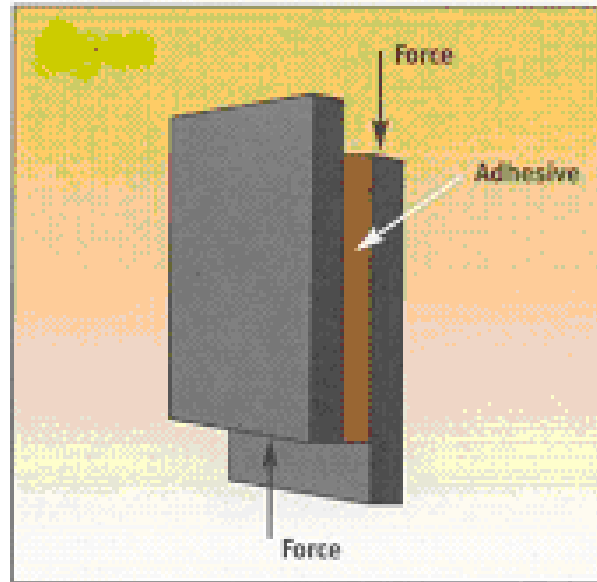


Fig. 5.27 Probeta para Ensayo de Tracción.

5.3.2.1.2 PELADO

Los ensayos de la prueba de pelado se realizan generalmente en ángulo de 90 o 180 grados. Los tipos mas comunes de ensayos de pelado son T-peel (pelado en T), climbing drum peel y floating roller peel (pelado del rodillo flotante) como se ve en la figura 5.28.

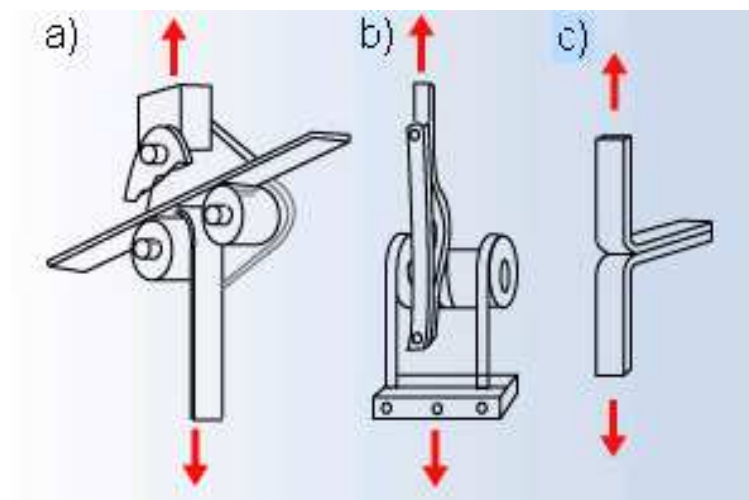


Fig.5.28 Tipos comunes de ensayos de pelado para adhesivos a) floating roller peel (pelado del rodillo flotante), b) climbing drum peel, c) T-peel (pelado en T).

Las características que afectan al ensayo de pelado son:

- El ángulo de pelado,
- El índice de pelado.
- Características viscoelásticas

El espesor del adhesivo también tiene un efecto significativo en fuerza de pelado. Esto es también debido a la naturaleza viscoelástica del pegamento. Con los pegamentos elastoméricos, una unión más gruesos darán lugar generalmente a fuerzas más altas de pelado. Con pegamentos más rígidos, una unión más gruesa da lugar a una fuerza más baja de pelado. La fuerza de pelado es también una función de la ticsura o del módulo de los substratos, de los pegamentos, tan bien como una función del grueso de los dos substratos que son pelados.

Los valores que resultan de cada método de la prueba pueden ser substancialmente diferentes; por lo tanto es importante especificar el método del ensayo empleado. Para nuestro objetivo se utilizara el T-Peel que se basa en la norma ASTM D 1876-72 (Anexo B)

5.3.1.1.1 IMPACTO

La prueba del impacto es de importancia porque los pegamentos, como la mayoría de los materiales de polímero son sensibles al índice de la fuerza aplicada. Hay diversos tipos de pruebas de impacto, pero la prueba más común para los pegamentos es análoga a la prueba de impacto de Izod. Es a menudo difícil alcanzar resultados reproductivos con la prueba de impacto, y consecuentemente, la prueba no es ampliamente utilizada en la situación de producción.

Este ensayo esta identificado en la Norma ASTM D950 - 82 es una prueba de impacto del péndulo para los empalmes adhesivos (Fig. 5.29).

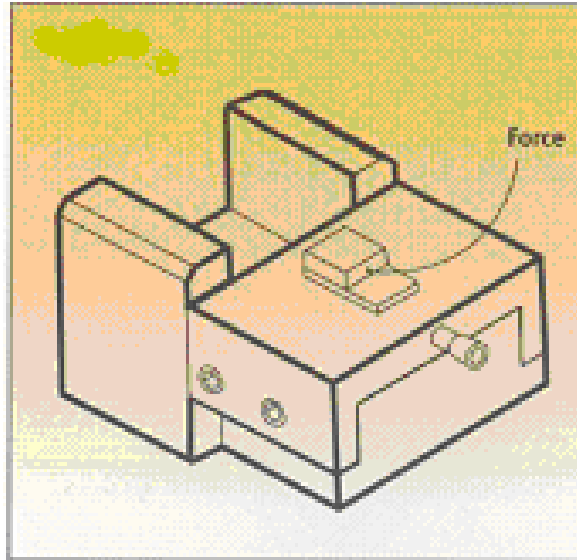


Fig.5.29 Probeta para Ensayo de Impacto.

5.4 COMPORTAMIENTO DE LAS UNIONES ADHESIVAS EN SERVICIO Y EFECTOS QUE PUEDEN DISMINUIR LAS PROPIEDADES DE LAS UNIONES ADHESIVAS

Una vez que se conoce las propiedades y las diferentes aplicaciones se verá cuales son los defectos que se pueden producir en el momento en que las juntas adhesivas se encuentran en funcionamiento, cuando están sometidas a temperatura, humedad y otros factores que afectan a la junta adhesiva.

La resistencia de una unión adhesiva debe ser la adecuada para el empleo a la cual vaya a ser destinada. A pesar de que ya se ha hablado de cómo realizar las uniones en las mejores condiciones, para que estas cumplan con las especificaciones previstas, no se garantiza que sus propiedades permanezcan inalteradas a lo largo de toda su vida en servicio, por el contrario, las indudables ventajas de las uniones adhesivas frente a otras técnicas de unión se ven seriamente mermadas si consideramos su comportamiento a largo plazo, debido a la acción de agentes agresivos que degradan su resistencia inicial. La característica más importante de los adhesivos es la capacidad de retener una resistencia residual suficiente durante largos periodos de tiempo, bajo una amplia variedad de condiciones de servicio.

Por tanto, la determinación de la durabilidad a largo plazo es uno de los temas más críticos si hablamos de los adhesivos.

Se han identificado multitud de factores que pueden causar degradación del adhesivo, del adherente o de la intercara entre ambos, determinando la duración en servicio de la unión adhesiva.

Además, no siempre es suficiente el investigar de forma independiente el efecto de cada uno de estos factores.

Existen interacciones entre ellos de tal manera que su efecto se refuerza, potenciando su influencia global: el efecto combinado de los dos factores es mayor que la suma de cada uno de ellos por separado.

Los mecanismos involucrados en el fallo de las uniones adhesivas no han sido determinados por completo. De hecho, varios mecanismos distintos pueden ser relevantes para diferentes materiales o, incluso, para un mismo material. El conocimiento de los distintos mecanismos activos en un proceso de fallo de una unión adhesiva resulta muy útil para predecir la influencia de los diversos agentes en la degradación de la unión.

Algunos de los factores que tienen una influencia conocida sobre la durabilidad de la unión adhesiva son:

- **Efecto de la temperatura.** Los adhesivos que estamos considerando son polímeros que exhiben comportamiento viscoelástico y otras propiedades que son función de la temperatura y el tiempo. La temperatura puede afectar al grado de entrecruzamiento entre cadenas, causar la oxidación del adhesivo o de los adherentes, provocar fragilidad, etc.
- **Efecto de la humedad.** Muchos polímeros son relativamente permeables al agua. La humedad puede ejercer influencia sobre las propiedades del polímero mediante hidrólisis y puede actuar como plastificante en otras ocasiones. La intercara juega un papel destacado en los efectos que la humedad provoca en la unión. En algunos casos, el agua realmente llega a desplazar al adhesivo.
- **Efectos electroquímicos y de corrosión.** Cuando los adhesivos se usan para unir metales y en presencia de humedad, es necesario considerar los posibles efectos de corrosión electroquímica. La vida en servicio de la unión adhesiva puede estar en ocasiones limitada por la corrosión en la intercara.
- **Resistencia química.** Diversos agentes químicos interaccionan y afectan a

las propiedades de los polímeros usados en la formulación de adhesivos: ozono, disolventes, combustibles, lubricantes, etc. Pueden alterar la interfase y las propiedades de adherencia.

- **Efectos de la radiación y el vacío.** La radiación puede cambiar la resistencia a cortadura y otras propiedades de los adhesivos. Podría pensarse que el vacío sirve para retirar agentes medioambientales que pudieran ser perjudiciales para la unión. Sin embargo, el mismo vacío puede ejercer efectos beneficiosos y perjudiciales mediante procesos de desgasificación, volatilización, eliminación de plastificantes y otros componentes de bajo peso molecular, etc.
- **Efecto combinado de la humedad, la temperatura y las tensiones mecánicas.** Estos agentes, cuya acción independiente es ya de por sí perjudicial para la unión adhesiva, exhiben diversos efectos sinérgicos cuando coinciden dos o más de ellos.
- **Envejecimiento y degradación.** No es siempre una tarea fácil simular las condiciones de servicio reales. Las cámaras climáticas y ciertas técnicas de envejecimiento acelerado son usadas frecuentemente, pero la fiabilidad de los resultados obtenidos por estos métodos no son totalmente confiables.
- **Durabilidad y predicción de la vida en servicio.** De los ensayos acelerados es necesario obtener estimaciones sobre la durabilidad y el tiempo de vida en servicio de la unión. Es necesario el uso de diversas técnicas de manejo de los datos para obtener predicciones lo más acercadas a la realidad.

5.4.1 EFECTO DE LA TEMPERATURA

Las uniones adhesivas pueden estar sometidas a elevadas temperaturas durante su proceso de fabricación o cuando están en servicio. Las altas temperaturas requeridas en numerosas aplicaciones son muy exigentes, sin duda, un factor que limita un uso más extendido de los adhesivos.

Un incremento de la temperatura reduce la vida en servicio del adhesivo, esto es debido a los procesos de degradación térmica y termo-oxidativa que sufren los sistemas adhesivos de base polimérica y los propios adherentes. La mayoría de los adhesivos se degradan por un mecanismo de escisión de cadena (la molécula de polímero es cortada en dos). Esto provoca el aumento del tamaño medio de

los volúmenes libres a la vez que decrece el número total de lugares de volumen libre. A medida que este proceso continúa, el polímero se va haciendo cada vez más “esponjoso” y su resistencia mecánica va mermándose.

Esto puede conducir a un deterioro de las propiedades mecánicas, es decir alcanzan tensiones locales que igualan las condiciones máximas que el adhesivo puede soportar y finalmente al fallo de la unión adhesiva.

5.4.1.1 EFECTOS INTERFACIALES

Un primer efecto de la temperatura es la variación de la tensión superficial del polímero, aunque parece ser que esta variación es pequeña. No sucede lo mismo con la tensión interfacial adhesivo-sustrato, que tiene una notable dependencia con la temperatura, decreciendo con la misma. En definitiva, al incrementar la misma se debilita la tensión interfacial adhesivo-sustrato y, consecuentemente, la resistencia de la unión disminuye.

Un fenómeno interfacial que no ha de ser perdido de vista es la dilatación diferencial entre adhesivo y adherente cuando aumenta la temperatura.

Los coeficientes de dilatación de los polímeros son mayores en un factor de cien veces que los de los adherentes más habituales. Además, los valores del coeficiente de dilatación del propio adhesivo son entre 2,5 y 3,5 veces mayores cuando la temperatura es superior a la de transición vítrea (T_g) que cuando se mide a temperaturas inferiores a T_g . Una forma de reducir los coeficientes de expansión de los adhesivos es mediante la incorporación de cargas minerales.

La diferencia de coeficientes de dilatación puede dar lugar al desarrollo de tensiones de origen térmico en la intercara.

Durante el curado del adhesivo, los cambios de volumen pueden ser una fuente de tensiones en el seno del material. Pero es cuando se enfría el adhesivo por debajo de su temperatura de transición vítrea cuando se generan tensiones residuales de origen térmico en la intercara adhesivo-adherente. El nivel de estas tensiones depende de la diferencia entre los respectivos coeficientes de dilatación y del intervalo de temperatura por debajo de la T_g a la que opere en servicio el adhesivo. A temperaturas muy bajas las tensiones térmicas pueden ser significativas, provocando en ocasiones el fallo de la unión.

5.4.1.2 TRANSICIONES TÉRMICAS EN ADHESIVOS

Debido a los grandes cambios en propiedades mecánicas en el entorno de la temperatura de transición vítrea, la temperatura de servicio de los adhesivos siempre ha de situarse por debajo de la T_g . Se tiene así un límite superior de la temperatura a la que puede ser sometida la unión en condiciones de trabajo.

Las transiciones térmicas en los adhesivos tienen su reflejo en las propiedades viscoelastoplásticas que presentan, entendiéndose como tales la variación de sus propiedades mecánicas con la temperatura y el tiempo. Una forma habitual de mostrar estas correlaciones es representando el módulo de relajación del adhesivo (tensión requerida para obtener una deformación constante en el adhesivo) en función del tiempo, para una temperatura concreta. De forma análoga se puede representar el módulo de relajación frente a la temperatura, para un tiempo concreto de aplicación de la carga. Esta información es muy valiosa desde el punto de vista del diseño de la unión y de la estimación de su durabilidad en servicio.

5.4.1.3 DEGRADACIÓN TÉRMICA DE ADHESIVOS

5.4.1.3.1 DESPOLIMERIZACIÓN

Para que se produzca la despolimerización de un adhesivo han de satisfacerse dos condiciones:

- Que la temperatura exceda un valor máximo, por encima del cual el polímero sea termodinámicamente inestable.
- Que exista un mecanismo por el cual se produzca la rotura de enlaces químicos y se generen centros activos que permitan que prosiga la despolimerización.

Esto implica que la temperatura límite no es simplemente aquella a la cual el polímero se vuelve inestable, sino que es posible superarla sin que se produzca la despolimerización a velocidades apreciables. Es preciso alcanzar una temperatura a la cual se active algún mecanismo químico como la formación de radicales libres. No obstante, la temperatura techo T_c (ceiling temperature) por encima de la cual es termodinámicamente imposible que se produzca polimerización es un buen indicador de la resistencia al calor de los distintos adhesivos.

La degradación de adhesivos por efecto térmico puede darse accidentalmente

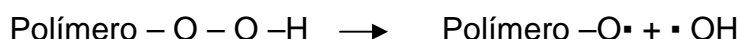
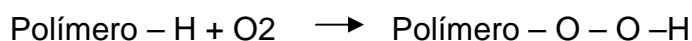
durante la propia fabricación de la unión. Si la polimerización es fuertemente exotérmica y el curado se produce con rapidez, el calor desprendido no puede ser transferido a los alrededores y puede provocar el daño del adhesivo. En el caso particular de uniones híbridas soldadura/adhesivo, la aplicación del punto de soldadura puede dar lugar a temperaturas muy elevadas en torno al mismo, produciéndose una degradación local que introduce un defecto en la unión.

5.4.1.3.2 DEGRADACIÓN OXIDATIVA

El oxígeno atmosférico ataca generalmente a los polímeros. En ocasiones, la velocidad de ataque, incluso a temperatura ambiente, es tan elevada que es preciso el uso de aditivos estabilizadores.

Los fundidos en caliente, los basados en cauchos sintéticos y los sensibles a la presión son ejemplos de adhesivos donde se emplean antioxidantes—. Por supuesto, todos los polímeros se degradan térmicamente cuando se alcanza una cierta temperatura, incluso en ausencia de aire. No obstante, la presencia de oxígeno acelera este proceso. El aporte de oxígeno dependerá de la permeabilidad a este gas del adhesivo y de los adherentes, de la distancia en que haya de difundir desde la superficie libre hasta el interior de la unión. En este sentido, los metales, cerámicos y vidrios son impermeables al oxígeno, mientras que los materiales compuestos de matriz polimérica pueden constituir una vía de entrada del oxígeno en la unión. Sin embargo, la difusividad del oxígeno en los adhesivos a elevadas temperaturas es tan grande que ni siquiera los adherentes impermeables al oxígeno proporcionan protección suficiente frente a la degradación oxidativa.

El mecanismo de ataque del oxígeno consiste en la formación de un hidroperóxido que posteriormente se descompone para dar lugar a radicales libres que son los que promueven la degradación:



En figura 5.30 se muestra la cantidad de oxígeno absorbida por un polímero típico, en presencia de aire, cuando se eleva la temperatura. La presencia de antioxidantes eleva la temperatura a la que comienza la absorción apreciable de oxígeno, pues el estabilizador actúa eliminando cualquier radical libre que se pueda formar.

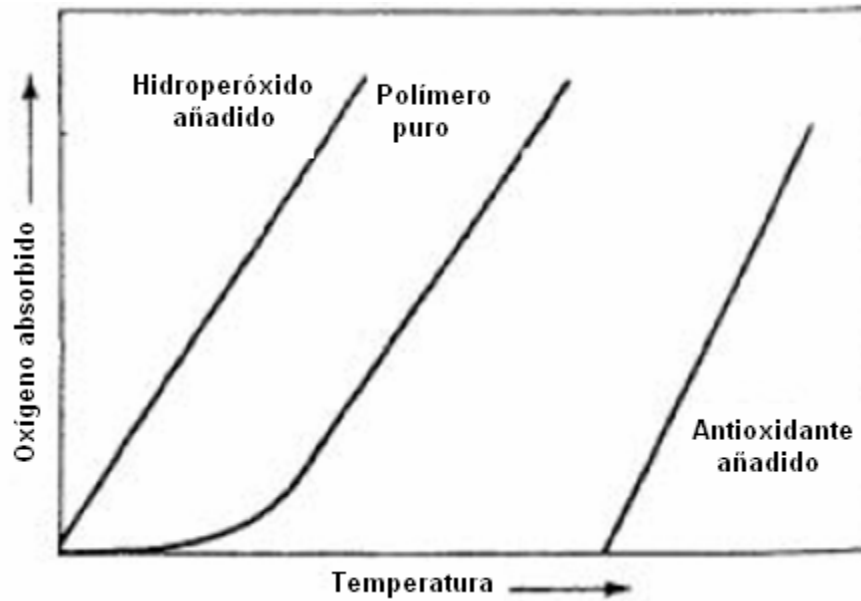


Fig.5.30 Absorción típica de oxígeno de polímeros puros y modificados.

5.4.1.4 LÍMITE DE TEMPERATURA DE LOS ADHESIVOS

Las temperaturas a las cuales los distintos adhesivos pueden sobrevivir en servicio durante un año (una forma de cuantificar su resistencia térmica) varían en cierta medida para formulación particular. No obstante, se pueden dar unas líneas generales para las distintas familias de adhesivos.

El límite superior para acrílicos y cianoacrilatos está en torno a 80°C, mientras que los epoxis curados con poliamidas tienen una temperatura límite en servicio de 65°C. Los epoxi curados con aminas alifáticas presentan un límite superior de 100°C, límite que aumenta hasta 150°C cuando se emplean aminas aromáticas y 175°C para los curados con ácidos orgánicos. La temperatura en servicio para siliconas es de 200°C y para poliamidas 260°C. Muchos de estos adhesivos pueden ser expuestos a temperaturas superiores por periodos cortos de tiempo sin efectos negativos para la unión.

Un criterio usado en la práctica para fijar la temperatura máxima de utilización de un adhesivo es que nunca se sobrepase en servicio la temperatura de transición vítrea del polímero. Este criterio nos coloca del lado de la seguridad en el sentido de que garantiza que no haya desplazamientos de los adherentes y que la temperatura de Tg no vaya aumentando paulatinamente pero, desde luego, no supone que ahí se agote la capacidad resistente de la unión.

5.4.2 EFECTO DE LA HUMEDAD

A bajas concentraciones la humedad actúa como un plastificante, ablandando el adhesivo; esto es un efecto relativamente benigno y supone un impacto negativo mínimo sobre el adhesivo. A medida que la concentración de humedad aumenta y el volumen libre se va llenando de moléculas de agua, las tensiones internas resultantes por efecto del hinchamiento pueden literalmente desgarrar el adhesivo desde el interior de su propia red polimérica, también puede afectar a los adherentes y particularmente a la intercara entre ambos, debido a que se produce una migración de la molécula hacia la superficie de alta energía del adherente. Algunos de los procesos que tienen lugar son reversibles como por ejemplo, la plastificación del adhesivo y la resistencia de la unión puede restablecerse tras un secado. También se pueden dar cambios irreversibles como por ejemplo, el microagrietamiento del adhesivo, que provocan daños permanentes y pérdida de propiedades en la unión.

La humedad ácida puede causar separación de las cadenas moleculares del adhesivo. De igual forma que lo que sucede con la temperatura, las escisiones de cadena tienden a rebajar la resistencia mecánica del polímero.

La molécula de agua es altamente polar y permeable a la mayoría de los polímeros. La mayoría de las uniones adhesivas están expuestas a la acción del agua líquida o como vapor, cuando la humedad relativa (HR) es suficientemente elevada y es prácticamente imposible evitar que difunda al interior del adhesivo.

La entrada de agua en la unión puede realizarse por alguno de los siguientes mecanismos:

- Difusión a través del adhesivo desde los bordes exteriores en contacto con la humedad.
- Transporte a lo largo de las intercaras adhesivo/adherentes.
- Difusión a través de adherentes permeables como por ejemplo, materiales compuestos de matriz polimérica.
- Migración por zonas microagrietadas del adhesivo.

Una vez que ha penetrado en la unión, el agua puede causar cambios en las propiedades del adhesivo debido a uno o más de los siguientes procesos:

- Plastificación del adhesivo con pérdida de resistencia de la unión.

- Cambio en las propiedades del adhesivo por efecto del microagrietamiento e hidrólisis.
- Hinchamiento y generación de tensiones residuales en la unión.
- Ataque de la intercara adhesivo/adherente mediante el desplazamiento del adhesivo o a causa de una reacción directa del agua con el adherente.

5.4.3 TENSION MECÁNICA

La tensión mecánica no limita, por si misma, la vida en servicio de los adhesivos. Como sucede con todos los materiales, los adhesivos pueden soportar una resistencia y una deformación máximas antes de que se produzca el fallo catastrófico.

Si las condiciones de servicio son tales que no se superan dichos valores límites, el adhesivo no tiene motivo para sufrir ninguna degradación en sus prestaciones.

La tensión cíclica, no obstante, sí que es potencialmente dañina para las uniones adhesivas, dando lugar a fallos por fatiga. Los fallos por fatiga suelen estar más bien relacionados con la degradación térmica del adhesivo que con la degradación por el efecto mecánico directo. En efecto, el polímero puede transformar la energía mecánica en calorífica, elevando su temperatura de forma sensible. Incluso este efecto cíclico es mínimo en tanto se mantenga en un porcentaje reducido de las propiedades últimas del adhesivo, y no afecta en gran medida a la extensión de su vida en servicio. Otro efecto descrito de la tensión mecánica es que, para algunos adhesivos, puede aumentar su grado de cristalinidad en áreas localizadas (ordenación parcial de segmentos de cadenas poliméricas). Esto hace que disminuya el volumen libre molecular, en consecuencia, disminuye la permeabilidad del adhesivo. Sin embargo, se trata de un efecto de poca importancia pues el grado de cristalinidad inducida por la tensión es generalmente muy pequeño.

Además de por la acción de las cargas externas, se pueden generar tensiones internas por efecto de la contracción del adhesivo (durante el curado) o debido a diferencias en los coeficientes de dilatación de adhesivo y adherentes. Con todo, el papel más importante de la tensión mecánica sobre la durabilidad de las uniones adhesivas está en que puede acelerar algún otro proceso de degradación, tal como el ingreso de agua u otros fluidos en la unión.

5.4.4 MEJORAS DE LA DURABILIDAD DE LA UNIÓN

La resistencia en húmedo de las uniones adhesivas puede ser mejorada bien previniendo que el agua acceda en cantidad suficiente a la unión (por encima del contenido crítico) o bien mejorando el comportamiento de la propia unión. Las formas prácticas de abordar el problema pueden resumirse en tres opciones:

- Interponiendo barreras a la difusión del agua
- Inhibiendo o retardando la hidratación
- Aplicando imprimaciones adecuadas.

5.4.4.1 INTERPOSICIÓN DE BARRERAS A LA DIFUSIÓN DE AGUA

La solución más obvia para retardar o reducir la difusión de agua dentro de la unión es el empleo de un adhesivo con valores pequeños de la permeabilidad y difusividad. Sin embargo, estas propiedades deben estar equilibradas con otras no menos importantes como la mojabilidad y la fabricabilidad, la resistencia mecánica y tenacidad, etc. y, por supuesto, con un coste adecuado.

El uso de sellantes (con valores extraordinariamente bajos de la permeabilidad) en los bordes exteriores de la unión también sirve para reducir el acceso de agua a la unión; no obstante, el sellante debe disponerse en un cordón lo suficientemente grueso para que sea efectivo y esto puede no ser práctico desde el punto de vista de la fabricabilidad.

5.4.4.2 INHIBICIÓN O RETARDO DE LA HIDRATACIÓN

Para retardar la hidratación de la capa de óxido metálico se ha propuesto aplicar sobre las superficies de los adherentes una monocapa de ciertos inhibidores orgánicos.

5.4.4.3 APLICACIÓN DE LA IMPRIMACIÓN

La imprimación es un agente acoplante que es capaz de establecer enlaces químicos primarios entre el adhesivo y el adherente. Se aplica a la superficie del adherente antes de realizar la unión con el adhesivo, mejorando la durabilidad en húmedo.

5.4.5 EFECTOS COMBINADOS DE LA TEMPERATURA, LA HUMEDAD Y LAS TENSIONES MECÁNICAS

5.4.5.1 TEMPERATURA-HUMEDAD

La interacción de estos dos factores puede dar lugar a un proceso de degradación más grave del que supone cada uno de ellos por separado. El efecto más crítico de la acción conjunta de la temperatura y la humedad es sobre la difusión de las moléculas de agua en el adhesivo.

5.4.5.2 HUMEDAD-TENSIÓN MECÁNICA

La temperatura, la humedad y las tensiones mecánicas interactúan para provocar el microagrietamiento (crazing) de la matriz polimérica. Aunque estas microgrietas puedan parecer muy pequeñas, realmente son grandes en comparación con el valor medio del volumen libre molecular. Estas actúan como verdaderos canales que sirven de vía de penetración a la humedad, con el consiguiente debilitamiento del adhesivo.

CAPITULO VI

CONTROL DE CALIDAD, SEGURIDAD E HIGIENE DE LOS ADHESIVOS

Luego de conocer mejor los adhesivos es momento de ver el control de calidad y los riesgos que estos nos pueden ocasionar.

6.1 CONTROL DE CALIDAD

6.1.1 PRUEBAS

Las uniones adhesivas se inspeccionan y se prueban para determinar su calidad y rendimiento en las condiciones de carga y ambientales que enfrentaran en servicio. Con base en los resultados de las pruebas, se podrán establecer los requisitos de calidad y se podrán especificar los métodos y procedimientos de inspección para garantizar esa calidad.

Es preciso comprender las ventajas y desventajas de los procedimientos de inspección y prueba para poder aplicarlos provechosamente. Existen varias normas que nos ayudan a probar las uniones pegadas con adhesivos (tabla 6.1).

Normas ASTM	
Propiedad	Designaciones ASTM
Físicas	
Envejecimiento	D1151, D1183, D2918, D2919, D3236, D3762
Químicas	D896
Corrosividad	D3310, D3482
Rapidez de curado	D1144
Propiedades de flujo	D2183
Vida en almacenamiento	D1337
Viscosidad	D1084
Resistividad volumétrica	D2739
Mecánicas	
Resistencia al hendimiento	D1062, D3433
Plastodeformación	D1780, D2293, D2294
Fatiga	D3156
Resistencia ala flexión	D1184
Resistencia al impacto	D950
Pelado	D903, D1781, D1876, D2918, D3167
Cizalla	D1002, D2182, D2295, D2919, D3528, D3583
Tensión	D897, D1344, D2095

Tabla 6.1. Normas ASTM para determinar las propiedades de un adhesivo

6.1.2 CONTROL DEL PROCESO Y CONTROL DE CALIDAD

Para un buen control de proceso por lo general se requiere una inspección de todo el equipo de limpieza y procesamiento, una evaluación de todos los materiales y un control del tiempo y condiciones de almacenamiento.

Es conveniente evaluar los adhesivos y los primers (imprimantes) para verificar que cumplan con los requisitos del diseño y las especificaciones del usuario o del fabricante (Anexo C). Los informes de pruebas certificadas del fabricante pueden ser aceptables en defecto de la realización de pruebas de desempeño.

Se recomienda efectuar pruebas periódicas para determinar si los procedimientos de limpieza, mezclado y pegado se están controlando como es debido.

Las pruebas de cizallamiento de traslazo son satisfactorias para controlar el mezclado, la preparación y la adhesión.

Hay que realizar los ensayos de pelado para verificar que los procedimientos de limpieza son apropiados. El método del cilindro ascendente, descrito en ASTM D1781, así como la prueba de extensión de grieta (cuña), ASTM D3762, esta diseñada para comprobar rápidamente la durabilidad de una unión adhesiva en un entorno de humedad y temperatura controlada. Esta prueba resulta útil para el control de calidad del proceso de preparación de las superficies, también sirven para evaluar las características de durabilidad del adhesivo.

La frecuencia de los ensayos dependerá del volumen de piezas producido y de los requisitos de la aplicación.

Sin embargo, muchos fabricantes que utilizan el pegado con adhesivos en aplicaciones críticas, realizan pruebas de control de calidad apropiadas por lo menos una vez al día para asegurar que el proceso este siempre dentro de las especificaciones.

Todas las piezas de producción que se rechacen por razón de sus dimensiones o por tener daños estructurales deberán inspeccionarse destructivamente para determinar la calidad de la unión.

Luego de conocer un poco del control de calidad de los adhesivos es también importante trabajar con seguridad, ya que los adhesivos presentan algunos riesgos como la irritación en los ojos, piel, entre otros, por lo que es necesario conocer algunos de estos y su higiene.

6.2 SEGURIDAD E HIGIENE

6.2.1 SEGURIDAD DE LOS ADHESIVOS

6.2.1.1 RIESGO POTENCIAL Y PELIGROSIDAD REAL

Una sustancia peligrosa es aquella que puede causar lesiones o daños. Puesto que el “riesgo potencial” es una cualidad inherente a todas las sustancias, debe acordarse un grado de peligrosidad derivada de su uso. La detección y control de la peligrosidad puede ser difícil, pero es obvio que cualquier sustancia manipulada sin precauciones puede acarrear un riesgo a la salud, a la seguridad, a los bienes o al medio ambiente.

El peligro real de una sustancia no sólo depende de su peligrosidad potencial, sino también de las condiciones de uso: el entorno, las cantidades y concentraciones, el grado de subdivisión y de dispersión, la presencia o ausencia de otras sustancias, la temperatura, la presión, el operario que la manipula, las precauciones tomadas para su manipulación, etc., aparte de los temas relacionados con los posibles riesgos futuros de tal sustancia. Se debe tener muy en cuenta la peligrosidad que presentan dichas sustancias para realizar un control correcto sobre los posibles riesgos presentes y futuros de su utilización.

6.2.1.2 RIESGOS HIGIÉNICOS

Se debe considerar algunos posibles riesgos higiénicos debido a la utilización de algunos adhesivos, habrá que diferenciar entre los riesgos originados por los disolventes que incorporan y los riesgos derivados de los compuestos de base.

La mayoría de los adhesivos en cuya composición entran disolventes orgánicos son de naturaleza elastómera, estos productos originalmente tenían como base el caucho natural pero en la actualidad incluyen una amplia gama de polímeros. En muchos casos la cantidad de disolvente o disolventes en un preparado adhesivo representa entre el 60 y el 80% de la composición del producto. La evaporación de esta fracción durante el proceso de utilización y de secado puede representar, por tanto, una serie de riesgos importantes, ya que la mayoría de disolventes son productos volátiles que penetran fácilmente en el organismo por inhalación de sus vapores y que en general:

- A elevadas concentraciones, deprimen el sistema nervioso central (acción anestésica).

- La exposición crónica a los vapores de ciertos disolventes puede generar un síndrome cerebral caracterizado por un déficit intelectual y problemas emocionales conducentes a una demencia presenil debido a un proceso progresivo de atrofia cerebral.

En relación con los productos de base, se considera que, por su parte, los **adhesivos de origen natural** no presentan riesgos importantes, algunos incluso se consideran inocuos, aunque existe la posibilidad de que ocasionen algún efecto alérgico.

Los **adhesivos sintéticos**, en cambio, pueden ocasionar efectos biológicos sobre los trabajadores expuestos debido a la presencia de trazas residuales de monómeros en la formulación. En todos los casos es importante tener en cuenta los aditivos añadidos al adhesivo. El hecho de que su presencia en la formulación del adhesivo preparado sea muy pequeña, generalmente en el caso de aditivos activos menos del 1%, no elimina un posible riesgo debido a su presencia, especialmente como responsables de afecciones de tipo cutáneo que pueden ocasionar dermatitis ya sean por un proceso de tipo irritativo o de tipo alérgico.

En el caso de los **adhesivos termoendurecibles**, la reacción química que tiene lugar en el proceso de curado puede dar lugar a una elevación de la temperatura y facilitarse el correspondiente desprendimiento de vapores.

Los **adhesivos termoplásticos** pueden contener en sus preparados una cierta cantidad de monómero residual y desprender sustancias irritantes procedentes de la descomposición lenta de algunos de los productos que intervienen en su composición. Además de la toxicidad de los monómeros y de los productos de descomposición hay que destacar la peligrosidad de algunos plastificantes.

6.2.1.3 MEDIDAS PREVENTIVAS PARA LOS RIESGOS HIGIÉNICOS.

Como se ha visto, muchos adhesivos contienen disolventes orgánicos, lo cual representa, en muchos casos, el principal riesgo y se aconseja tomar medidas preventivas ya que la mayoría de disolventes orgánicos son inflamables y, aunque en distinto grado, nocivos para la salud.

- Debido a su inflamabilidad deben guardarse en recipientes adecuados. Los frascos para adhesivos utilizados en el puesto de trabajo deben poseer un diseño adecuado y tener aberturas lo más pequeñas posibles para limitar la

evaporación, debiendo prohibirse la presencia de frascos abiertos con adhesivos conteniendo disolventes orgánicos. Además la utilización de estos productos ha de estar prohibida en aquellos lugares con peligro de incendio.

- Dado que en muchos procesos de encolado pueden desprenderse elevadas cantidades de vapores de disolventes, así como monómeros o productos de descomposición de los polímeros, siempre que sea posible, debe trabajarse en zonas bien delimitadas y con adecuados sistemas de ventilación tanto de tipo general como de extracción localizada.
- Como al calentar algunos adhesivos se facilita la emanación de vapores tóxicos, siempre que sea posible, se utilizarán técnicas que permitan prescindir de los procesos de calentamiento.
- En general, en un trabajo intensivo con adhesivos, contengan o no disolventes orgánicos, es conveniente usar algún tipo de protección de las manos, ya sean guantes o cremas protectoras; en cualquier caso dichas protecciones deberán elegirse en función de las características del adhesivo.
- Como en cualquier otro trabajo susceptible de generar contaminación ambiental, en la manipulación de adhesivos es recomendable efectuar controles ambientales y médicos que permitan asegurar la inocuidad de la exposición para los trabajadores sometidos a ella.

6.2.1.4 RIESGOS ESPECÍFICOS

La utilización de un producto químico puede resultar peligrosa si éste presenta indicios de inestabilidad a temperaturas próximas a los 100°C, y la mayoría de las resinas base que entran en la composición de adhesivos en dispersión y en fusión comienzan a descomponerse a esa temperatura. El resultado de este tipo de degradaciones, aporte del oxígeno de aire, temperaturas moderadamente altas (100-200°C) y condiciones no drásticas, es la emisión de una gran variedad de productos intermedios de degradación, algunos de los cuales desconocidos, y no siempre coincidentes en presencia y cantidad con los productos finales de una descomposición total como es una combustión.

El riesgo por inhalación se manifiesta en forma de asma bronquial, alergias respiratorias, irritaciones de ojos y mucosas, rinitis y conjuntivitis.

Otro riesgo de importancia que puede presentarse en la utilización de adhesivos

es el riesgo por contacto. Muchas de estas resinas son importantes alérgenos y sensibilizadores de la piel. Esta acción se manifiesta en forma de dermatitis de contacto que puede ser potenciada por la presencia de otras sustancias que acompañan a las resinas en la formulación, ya que aún los irritantes débiles pueden presentar, también, una acción acumulativa sobre la piel. Incluso, el contacto continuado con no irritantes como dispersiones acuosas que contienen tensioactivos y sustancias higroscópicas como las que se presentan en muchas de estas emulsiones hacen daño a pieles débiles y desgastadas previamente por agresión mecánica, sirviendo de puerta de entrada a la acción de irritantes y sensibilizantes fuertes.

6.2.1.5 MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE LOS RIESGOS ESPECÍFICOS

Diversas medidas de prevención deben ser tomadas para garantizar una utilización de adhesivos segura, carente de riesgos higiénicos.

Estas se pueden resumir en:

1. Limpieza de la zona de trabajo: mesas, herramientas y utensilios deben ser limpiados regularmente.
2. Una ventilación eficaz natural o forzada siempre es aconsejable y si es posible también es conveniente una aspiración localizada de vapores y gases tóxicos. La disposición y características de los sistemas de extracción dependen del modo de operar y tamaño de las superficies a unir, pero para la práctica totalidad de gases y vapores que pueden desprenderse, la velocidad de captura de 0,5-0,7 m/s suele ser suficiente. Operaciones como el mezclado de sustancias de una formulación adhesiva previo a su aplicación, así como el calentamiento para su fusión deben realizarse en áreas bien ventiladas.
3. En el supuesto de que la instalación de sistemas de extracción localizada no sea posible, o las circunstancias obliguen a una concentración de contaminantes importante, se deberá recurrir a los sistemas de protección personal:
 - Adaptadores faciales.
 - Filtros mecánicos.

- Mascarillas autofiltrantes (polvo).
 - Filtros químicos y mixtos contra diversos gases.
 - Gafas y oculares protectores contra proyección de partículas.
4. Para prevenir el riesgo por contacto es conveniente utilizar guantes de protección frente a agresivos químicos y protección de manos y superficies del cuerpo expuestos mediante aerosoles de protección, cremas o pomadas activas que reaccionan con la sustancia nociva impidiendo su penetración a través de la piel, o cremas barrera que impidan o dificulten el contacto de la sustancia con la piel.
 5. Utilización de ropa de trabajo apropiada, así como medidas de limpieza e higiene personales, separación completa de las vestimentas de calle y de trabajo, evitar el almacenamiento y consumo de bebidas y comidas en el área de trabajo donde se utilicen adhesivos.
 6. Las recomendaciones precautorias en caso de inhalación y/o contacto con adhesivos son:
 - En caso de inhalación, separar al sujeto de la zona contaminada y requerir la atención médica.
 - En caso de salpicaduras y proyecciones accidentales a ojos, lavarlos inmediatamente con abundante agua, y requerir la atención médica.
 - En caso de contacto con zonas de la piel no protegidas, lavar inmediatamente con abundante agua, no dejando secar el producto sobre la piel. No se debe utilizar un disolvente para limpiar la zona afectada.
 - En la utilización de adhesivos en fusión pueden ocasionarse quemaduras importantes, en caso de contacto con zonas de la piel no protegidas. En este supuesto es necesario sumergir la zona afectada en agua fría, cubrirla con un trozo de tela limpia, no retirar el adhesivo inmediatamente y avisar a un médico.

Como complemento de toda medida preventiva son necesarios:

- Un control riguroso y regular de la concentración de los contaminantes químicos en la atmósfera de trabajo.
- La información al trabajador de la naturaleza de los productos que manipula y los riesgos que pueden presentarse.

6.2.1.6 LA REGULACIÓN SOBRE MATERIALES PELIGROSOS

Durante los últimos años se ha desarrollado de forma extensa un conjunto de reglamentos sobre el uso y almacenaje de sustancias químicas, entre las que están incluidos los adhesivos. Estas normas trascienden en muchos casos el ámbito nacional, sobre todo en aquéllas en las que se involucra el medioambiente.

Existen reglamentos concretos que regulan las condiciones de Seguridad e Higiene mínimas requeridas para asegurar la calidad del ambiente de trabajo. Tales reglamentos prohíben tajantemente aquellas sustancias que en las condiciones en las que son manipuladas pueden producir trastornos físicos sobre los operadores, ya sea por exposiciones puntuales o por exposiciones periódicas. Otros reglamentos preservan el medioambiente de la emisión de agentes contaminantes, bien sea por su carácter tóxico intrínseco, bien sea por los efectos secundarios que puedan producir sobre el hombre, sobre los ecosistemas, sobre la atmósfera o sobre bienes materiales. Tales sustancias sólo pueden hallarse en el medio ambiente por debajo de los límites de concentración establecidos. Se regula también el vertido de residuos al entorno.

El desarrollo de estas regulaciones es el resultado de la demanda de la sociedad de tales medidas que la industria no emprende por sí misma, por falta de incentivo económico. En la actualidad la inversión dedicada a la investigación en este terreno es cada vez mayor.

6.3 HIGIENE PERSONAL

El personal deberá conocer los procedimientos correctos para evitar el contacto de los disolventes, agentes de curado y adhesivos base sin curar con la piel.

Deberá contarse con duchas, lavabos, jabones neutros, toallas limpias, cremas reacondicionadoras y equipo de protección.

Los agentes de curado deberán eliminarse de las manos con agua y jabón.

Las resinas deberán quitarse con agua y jabón, alcohol o un disolvente apropiado, si se usa disolvente deberá emplearse la menor cantidad posible, seguida del lavado con agua y jabón.

Si se presentan reacciones alérgicas o quemaduras, deberá proporcionarse asistencia médica de inmediato.

6.4 DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN

Siempre que se trabaje con adhesivos potencialmente tóxicos, se deberá usar guantes de plástico o caucho.

Si los guantes se contaminan, no deberán entrar en contacto con objetos que otras personas podrían tocar con las manos desprotegidas.

Los guantes contaminados deberán desecharse o limpiarse siguiendo procedimientos que elimine el adhesivo específico de que se trate.

La limpieza puede requerir disolventes, agua y jabón, o ambas cosas. Las manos, brazos, rostro y cuello deberán cubrirse con un ungüento o crema de barrera comercial. Este tipo de material puede ofrecer protección a corto plazo y facilitar la eliminación de los componentes del adhesivo con un lavado posterior.

Siempre que exista la posibilidad de salpicaduras, deberán usarse caretas completas para proteger los ojos. Si no, se recomienda usar gafas.

Las personas que trabajen con los adhesivos deberán usar en todo momento indumentaria protectora. Las batas de taller, delantales u overoles pueden ser suficientes y deberán limpiarse antes de volver a usar.

6.5 SEGURIDAD E HIGIENE DE LOS EQUIPOS EMPLEADOS EN LAS TÉCNICAS DE CURADO POR LUZ LOS PELIGROS SOBRE LAS PERSONAS QUE SE PUEDEN DERIVAR DEL CURADO POR LUZ UV Y LUZ VISIBLE SON DE CUATRO TIPOS:

- Emisión ultravioleta
- Formación de ozono
- Alto voltaje y alta temperatura
- Manipulación del bulbo

6.5.1 EMISIÓN ULTRAVIOLETA

Aquí, la primera preocupación es el potencial de quemaduras por radiación debido a la exposición a la luz UV de alta intensidad. La energía asociada a la luz UV no es suficiente para penetrar en el cuerpo e interactuar con el tejido, por lo que no produce efectos fisiológicos importantes asociados a la radiación atómica. No obstante, la exposición a la luz UV y visible de alta intensidad (que contiene luz

UV) pueden producir graves daños a la piel y los ojos. Los efectos finales de estos daños fotoquímicos los determinan tanto la dosis como el tiempo de exposición.

6.5.2 QUEMADURAS UV EN LA PIEL Y EN LOS OJOS

Al contrario de las quemaduras térmicas, que se sienten inmediatamente, las quemaduras UV no se sienten hasta haber transcurrido varias horas.

Incluso una corta exposición a alta intensidad de luz UVB y UVC pueden ocasionar graves quemaduras en la piel y los ojos. Las quemaduras en la piel aparecen generalmente como enrojecimiento 3 o 4 horas después de la exposición, y alcanzan su grado máximo cerca de 12 horas después de la exposición. Los enrojecimientos tardan de 2 a 7 días en desaparecer. Las quemaduras UV en los ojos producirán ampollas y pelado en la córnea de los mismos, produciendo al afectado la sensación de tener arena en los ojos (de aquí también el término “resplandor de la soldadura”). Este tipo de daño se hace evidente normalmente a las 6 o 12 horas después de la exposición, pero puede brotar tan pronto como a las 2 horas o tan tarde como a las 24 horas tras la exposición. Los síntomas pueden ser muy dolorosos, pero normalmente son pasajeros y la recuperación está típicamente dentro de las 48 horas. La exposición a luz UVA puede también contribuir a la formación de cataratas.

6.5.3 EQUIPO DE PROTECCIÓN

Para una máxima seguridad personal deberán protegerse siempre la piel y los ojos. Los equipos protectores incluyen gafas adecuadas, máscaras faciales, ropa y material de protección opaco a UV. Debe también evitarse el primer golpe de radiación.

6.5.4 LÍMITES DE EXPOSICIÓN

Debido a estos serios efectos sobre la piel y los ojos, se han establecido unos límites de exposición permisibles tanto por la Conferencia Americana de los Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH) como por el Instituto Nacional de Salud y Seguridad en el Trabajo (NIOSH). Las normas NIOSH para los ojos y la piel desprotegidos durante ocho horas al día son:

- Exposición efectiva total máxima 0.1 W/cm^2 a longitud de ondas en el rango de 200- 315 nm.
- Exposición efectiva total máxima 1.0 mW/cm^2 a longitud de ondas en el rango de 315 – 400 nm.

Puede utilizarse un medidor de potencia UV estándar para controlar niveles UV en varias áreas.

CAPITULO VII

ANALISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

7.1 RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN Y PELADO.

ADHESIVO



Fig. 7.1 Perma Poxy

DESCRIPCIÓN DEL ADHESIVO

- NOMBRE: Perma Poxy
- TIPO: Adhesivos epóxicos de varios componentes.
- CÓDIGO: 84107
- ORIGEN: ITW Permatex Inc. USA
- PRESENTACIÓN: Volumen neto 25 ml
- FECHA DE FABRICACIÓN: 2006, dura 2 años luego de su elaboración.

DESCRIPCIÓN DEL SUSTRATO

METAL

- ACERO UTILIZADO: SAE 1020
- MÉTODO DE LIMPIEZA: Abrasión mecánica (Lijado)
- ESPESOR: 1.6 mm

APLICACIÓN DEL ADHESIVO

- MEZCLADO: Mezclar bien la resina y el endurecedor con la paleta durante 2 minutos hasta que el color sea parejo.
- FORMA DE APLICACIÓN: Aplicar una pequeña cantidad de la mezcla en ambas superficies y unir las piezas inmediatamente.

CONDICIONES DE USO DE LOS ADHESIVOS

- TEMPERATURA: (-51°C a 82°C). Se realizó a temperatura ambiente.
- TIEMPO DE SECADO: 30 min.
- TIEMPO DE CURADO: Aproximadamente 8 horas. Pero se dejó curar por 24 horas.

ESPESOR DEL ADHESIVO

- **ENSAYO DE TRACCIÓN:**
- RANGO DE MEDIDA: 0.04 – 0.02 mm
- ESPESOR PROMEDIO OBTENIDO DEL ADHESIVO: 0.04 mm
- LOCALIZACIÓN DE LA MEDICIÓN: En la mitad de la unión adhesiva de cada probeta.
- INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: Pie de rey (A= 1/50)

ÁREA UTILIZADA EN ENSAYOS

- AREA UTILIZADA ENSAYO DE TRACCIÓN: 3.22 cm² equivalente 0.49 pulg².

ALMACENAJE DE LA PROBETA PREVIO A LOS ENSAYOS

- ALMACENAJE: En un lugar aislado de la humedad, cubierto con papel.

NUMERO DE PROBETAS

- N°= 3 Por cada adhesivo, para el ensayo de tracción y pelado

NÚMERO DE JUNTAS REPRESENTADAS.

- N°= 1
- TIPO DE JUNTA ENSAYO DE TRACCIÓN: Solape.

- TIPO DE JUNTA PARA ENSAYO DE PELADO: En T

MÁQUINA UTILIZADA EN EL ENSAYO DE PELADO



Fig 7.2 Máquina utilizada para el ensayo de tracción y pelado.

- **VELOCIDAD** Se trabajo con una velocidad de 254 mm/min por las condiciones de la máquina
- **FUERZA MÁXIMA DE LA MÁQUINA** 5000 N

RESULTADOS

RESULTADOS ENSAYOS DE TRACCIÓN

TIPOS DE FALLO EN PORCENTAJE

- FALLO POR ADHESIÓN: 50%
- FALLO POR COHESIÓN: 50%
- ADHESION AL METAL: BUENA



Fig. 7.3 Fallo del adhesivo Perma Epoxy

ESFUERZO ENSAYO DE TRACCIÓN

- ESFUERZO MÁXIMO DADO POR EL FABRICANTE: 3500 PSI
- ESFUERZO PROMEDIO OBTENIDO: 488.49 PSI

RESULTADOS ENSAYO DE PELADO

- FUERZA MÁXIMA, MÍNIMA Y PROMEDIO DE PELADO

Probeta A

Mínimo: 0.58 (N)

Máximo: 23.05 (N)

Probeta B

Mínimo: 2.75 (N)

Máximo: 15.72 (N)

Probeta C

Mínimo: 6.68 (N)

Máximo: 21.02 (N)

FUERZA PROMEDIO ALCANZADA: 11.36 (N)

TIPOS DE FALLO:



Fig. 7.4 Probeta A del ensayo de Pelado con la resina Perma Poxy

Probeta A: Presenta un fallo adhesivo



Fig. 7.5 Probeta B del ensayo de Pelado con la resina Perma Epoxy

Probeta B: Presenta un fallo adhesivo



Fig. 7.6 Probeta C del ensayo de Pelado con la resina Perma Epoxy

Probeta C: Presenta un fallo adhesivo

ADHESIVO



Fig. 7.7 Poxi Bonder

DESCRIPCIÓN DEL ADHESIVO

- NOMBRE: Poxi Bonder
- TIPO: Adhesivos epóxicos de varios componentes.
- CÓDIGO: 711528
- ORIGEN: Loctite Henkel Venezolana
- PRESENTACIÓN: Peso neto 40g
- FECHA DE FABRICACIÓN: Mayo del 2006, dura 36 meses luego de su fabricación.

DESCRIPCIÓN DEL SUSTRATO

METAL

- ACERO UTILIZADO: SAE 1020
- MÉTODO DE LIMPIEZA: Abrasión mecánica (Lijado)
- ESPESOR: 1.6 mm

APLICACIÓN DEL ADHESIVO.

- **MEZCLADO:** Mezclar bien los 2 componentes la resina y el endurecedor.
- **FORMA DE APLICACIÓN:** Aplique inmediatamente la mezcla sobre el área esparciéndola para dar la terminación. El exceso de adhesivo no curado, puede limpiarse inmediatamente con alcohol.

CONDICIONES DE USO DE LOS ADHESIVOS

- **TEMPERATURA:** (-20°C a 100°C). Se realizó a temperatura ambiente.
- **TIEMPO DE SECADO:** 4 min.
- **TIEMPO DE CURADO:** Aproximadamente 3 horas. Pero se dejó curar por 24 horas.

ESPESOR DEL ADHESIVO

ENSAYO DE TRACCIÓN:

- **RANGO DE MEDIDA:** 0.6 – 0.2 mm
- **ESPESOR PROMEDIO OBTENIDO DEL ADHESIVO:** 0.4 mm
- **LOCALIZACIÓN DE LA MEDICIÓN:** En la mitad de la unión adhesiva de cada probeta.
- **INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:** Pie de rey (A= 1/50)

ÁREA UTILIZADA EN ENSAYOS DE TRACCIÓN E IMPACTO

- **AREA UTILIZADA ENSAYO DE TRACCIÓN:** 3.22 cm² equivalente 0.49 pulg².

ALMACENAJE DE LA PROBETA PREVIO AL ENSAYO

- **ALMACENAJE:** En un lugar aislado de la humedad, cubierto con papel.

NUMERO DE PROBETAS

- **Nº= 3** Por cada adhesivo, para el ensayo de tracción y pelado

NÚMERO DE JUNTAS REPRESENTADAS.

- **Nº= 1**
- **TIPO DE JUNTA ENSAYO DE TRACCIÓN:** Solape.
- **TIPO DE JUNTA PARA ENSAYO DE PELADO:** En T

MÁQUINA UTILIZADA EN EL ENSAYO DE PELADO



Fig 7.8 Máquina utilizada para el ensayo de tracción y pelado.

- **VELOCIDAD** Se trabajo con una velocidad de 254 mm/min por las condiciones de la máquina
- **FUERZA MÁXIMA DE LA MÁQUINA** 5000 N

RESULTADOS

RESULTADOS ENSAYOS DE TRACCIÓN.

TIPOS DE FALLO EN PORCENTAJE

- FALLO POR ADHESIÓN: 60%
- FALLO POR COHESIÓN: 40%
- ADHESION AL METAL: REGULAR



Fig. 7.9 Fallo del adhesivo Poxi Bonder

ESFUERZO ENSAYO DE TRACCIÓN:

- ESFUERZO MÁXIMO DADO POR EL FABRICANTE: 1512 PSI
- ESFUERZO PROMEDIO OBTENIDO: 761.08 PSI

RESULTADOS ENSAYO DE PELADO:**FUERZA MÁXIMA, MÍNIMA Y PROMEDIO DE PELADO****Probeta A**

Mínimo: 2.15 (N)

Máximo: 23.99 (N)

Probeta B

Mínimo: 2.05 (N)

Máximo: 17.07 (N)

Probeta C

Mínimo: 2.86 (N)

Máximo: 21.39 (N)

FUERZA PROMEDIO ALCANZADA: 17.16 (N)**TIPOS DE FALLO**

Fig. 7.10 Probeta A del ensayo de Pelado con la resina Poxo Bonder

Probeta A: Presenta un fallo cohesivo

Fig. 7.11 Probeta B del ensayo de Pelado con la resina Poxo Bonder

Probeta B: Presenta un fallo cohesivo



Fig. 7.12 Probeta C del ensayo de Pelado con la resina Poxy Bonder
Probeta C: Presenta un fallo cohesivo

ADHESIVO



Fig. 7.13 Super Epoxy

DESCRIPCIÓN DEL ADHESIVO

- NOMBRE: Super Epoxy
- TIPO: Adhesivos epóxicos de varios componentes.
- CÓDIGO: PC
- ORIGEN: PC Products, USA
- PRESENTACIÓN: Peso neto 28.4 g
- FECHA DE FABRICACIÓN: 2007

DESCRIPCIÓN DEL SUSTRATO

METAL

- ACERO UTILIZADO: SAE 1020
- MÉTODO DE LIMPIEZA: Abrasión mecánica (Lijado)
- ESPESOR: 1.6 mm

APLICACIÓN DE LOS ADHESIVOS

- **MEZCLADO:** Mezclar bien los 2 componentes, la resina y el endurecedor hasta que desaparezca el color.
- **FORMA DE APLICACIÓN:** Aplique la mezcla inmediatamente sobre una superficie horizontal.

CONDICIONES DE USO DE LOS ADHESIVOS

- **TEMPERATURA:** (-29°C a 93°C). Se realizó a temperatura ambiente.
- **TIEMPO DE SECADO:** 15 min
- **TIEMPO DE CURADO:** Aproximadamente 3 a 4 horas. Pero se dejó curar por 24 horas.

ESPESOR DEL ADHESIVO

ENSAYO DE TRACCIÓN:

- **RANGO DE MEDIDA:** 1 – 0.6 mm
- **ESPESOR PROMEDIO OBTENIDO DEL ADHESIVO:** 0.8 mm
- **LOCALIZACIÓN DE LA MEDICIÓN:** En la mitad de la unión adhesiva de cada probeta.
- **INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:** Pie de rey ($A = 1/50$)

ÁREA UTILIZADA EN ENSAYOS DE TRACCIÓN E IMPACTO

- **AREA UTILIZADA ENSAYO DE TRACCIÓN:** 3.22 cm² equivalente 0.49 pulg².

ALMACENAJE DE LA PROBETA PREVIO AL ENSAYO

- **ALMACENAJE:** En un lugar aislado de la humedad, cubierto con papel.

NUMERO DE PROBETAS

- **Nº = 3** Por cada adhesivo, para el ensayo de tracción y pelado

NÚMERO DE JUNTAS REPRESENTADAS.

- **Nº = 1**
- **TIPO DE JUNTA ENSAYO DE TRACCIÓN:** Solape.
- **TIPO DE JUNTA PARA ENSAYO DE PELADO:** En T

MÁQUINA UTILIZADA EN EL ENSAYO DE PELADO



Fig 7.14 Maquina utilizada para el ensayo de tracción y pelado.

- **VELOCIDAD** Se trabajo con una velocidad de 254 mm/min por las condiciones de la máquina
- **FUERZA MÁXIMA DE LA MÁQUINA** 5000 N

RESULTADOS

RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN

TIPOS DE FALLO EN PORCENTAJE

- FALLO POR ADHESIÓN: 70%
- FALLO POR COHESIÓN: 30%
- ADHESION AL METAL: REGULAR



Fig. 7.15 Fallo del adhesivo Super Epoxy

ESFUERZO ENSAYO DE TRACCIÓN.

- ESFUERZO MÁXIMO DADO POR EL FABRICANTE: 2650 PSI
- ESFUERZO PROMEDIO OBTENIDO: 1327.01 PSI

RESULTADOS ENSAYO DE PELADO

- FUERZA MÁXIMA, MÍNIMA Y PROMEDIO DE PELADO

Probeta A

Mínimo: 3.53 (N)

Máximo: 51.55 (N)

Probeta B

Mínimo: 1.99 (N)

Máximo: 261.97 (N)

Probeta C

Mínimo: 3.98 (N)

Máximo: 344.98 (N)

FUERZA PROMEDIO ALCANZADA: 145.37 (N)

TIPOS DE FALLO



Fig. 7.16 Probeta A del ensayo de Pelado con la resina Super Epoxy

Probeta A: Presenta un fallo cohesivo al 50%.



Fig. 7.17 Probeta B del ensayo de Pelado con la resina Super Epoxy

Probeta B: Presenta un fallo cohesivo al 50%.



Fig. 7.18 Probeta C del ensayo de Pelado con la resina Super Epoxy
Probeta C: Presenta un fallo adhesivo.

ADHESIVO



Fig. 7.19 Marine Epoxy

DESCRIPCIÓN DEL ADHESIVO

- NOMBRE: Marine Epoxy White Paste
- TIPO: Adhesivos epóxicos de varios componentes.
- CÓDIGO: PC - 11
- ORIGEN: PC Products, USA
- PRESENTACIÓN: Peso neto 28 g
- FECHA DE FABRICACIÓN: 2006, dura 2 años luego de su fabricación.

DESCRIPCIÓN DEL SUSTRATO

METAL

- ACERO UTILIZADO: SAE 1020
- MÉTODO DE LIMPIEZA: Abrasión mecánica (Lijado)
- ESPESOR: 1.6 mm

APLICACIÓN DEL ADHESIVO

- MEZCLADO: Mezclar bien los 2 componentes, la resina y el endurecedor hasta que se uniformice el color a blanco opaco.
- FORMA DE APLICACIÓN: Aplique la mezcla inmediatamente sobre las superficies a adherir.

CONDICIONES DE USO DEL ADHESIVO

- TEMPERATURA: (-6°C a 93°C). Se realizó a temperatura ambiente.
- TIEMPO DE SECADO: 30 a 42 min
- TIEMPO DE CURADO: Aproximadamente 12 horas Pero se dejó curar por 24 horas.

ESPESOR DEL ADHESIVO**ENSAYO DE TRACCIÓN:**

- RANGO DE MEDIDA: 0.6 – 0.4 mm
- ESPESOR PROMEDIO OBTENIDO DEL ADHESIVO: 0.4 mm
- LOCALIZACIÓN DE LA MEDICIÓN: En la mitad de la unión adhesiva de cada probeta.
- INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: Pie de rey (A= 1/50)

ÁREA UTILIZADA EN ENSAYOS DE TRACCIÓN E IMPACTO

- AREA UTILIZADA ENSAYO DE TRACCIÓN: 3.22 cm² equivalente 0.49 pulg².

ALMACENAJE DE LA PROBETA PREVIO AL ENSAYO

- ALMACENAJE: En un lugar aislado de la humedad, cubierto con papel.

NUMERO DE PROBETAS

- N°= 3 Por cada adhesivo, para el ensayo de tracción y pelado

NÚMERO DE JUNTAS REPRESENTADAS.

- N°= 1
- TIPO DE JUNTA: Solape.
- TIPO DE JUNTA EN PELADO: En T

MÁQUINA UTILIZADA EN EL ENSAYO DE PELADO



Fig 7.20 Maquina utilizada para el ensayo de tracción y pelado.

- **VELOCIDAD** Se trabajo con una velocidad de 254 mm/min por las condiciones de la máquina
- **FUERZA MÁXIMA DE LA MÁQUINA** 5000 N

RESULTADOS

RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN

TIPOS DE FALLO EN PORCENTAJE

- FALLO POR ADHESIÓN: 16%
- FALLO POR COHESIÓN: 84%
- ADHESION AL METAL: Excelente



Fig. 7.21 Fallo del cohesivo Marine Epoxy

ESFUERZO ENSAYO DE TRACCIÓN.

- ESFUERZO MÁXIMO DADO POR EL FABRICANTE: 1710 PSI
- ESFUERZO PROMEDIO OBTENIDO: 839.40 PSI

RESULTADOS ENSAYO DE PELADO

- FUERZA MÁXIMA, MÍNIMA Y PROMEDIO DE PELADO

Probeta A

Mínimo: 0.68 (N)

Máximo: 92.12 (N)

Probeta B

Mínimo: 0.99 (N)

Máximo: 153.27 (N)

Probeta C

Mínimo: 2.66 (N)

Máximo: 255.84 (N)

FUERZA PROMEDIO ALCANZADA: 103.20 (N)



Fig. 7.22 Probeta A del ensayo de Pelado con la resina Marine Epoxy

Probeta A: Presenta un fallo cohesivo.



Fig. 7.23 Probeta B del ensayo de Pelado con la resina Marine Epoxy

Probeta B: Presenta un fallo cohesivo.



Fig. 7.24 Probeta C del ensayo de Pelado con la resina Marine Epoxy
Probeta C: Presenta un fallo cohesivo.

ADHESIVO



Fig. 7.25 2Ton Epoxy

DESCRIPCIÓN DEL ADHESIVO

- NOMBRE: 2 Ton Epoxy
- TIPO: Adhesivos epóxicos de varios componentes.
- CÓDIGO: S-31/31345
- ORIGEN: Devcon, USA
- PRESENTACIÓN: Volumen 25 ml
- FECHA DE FABRICACIÓN: 2006, dura 2 años luego de su fabricación.

DESCRIPCIÓN DEL SUSTRATO

METAL

- ACERO UTILIZADO: SAE 1020
- MÉTODO DE LIMPIEZA: Abrasión mecánica (Lijado)
- ESPESOR: 1.6 mm

APLICACIÓN DEL ADHESIVO

- **MEZCLADO:** Mezclar bien los 2 componentes, la resina y el endurecedor hasta que se uniformice el color.
- **FORMA DE APLICACIÓN:** Aplique inmediatamente sobre la superficie.

CONDICIONES DE USO DEL ADHESIVO

- **TEMPERATURA:** (15°C a 93°C). Se realizó a temperatura ambiente.
- **TIEMPO DE SECADO:** 30 min
- **TIEMPO DE CURADO:** Aproximadamente 8 horas Pero se dejó curar por 24 horas.

ESPESOR DEL ADHESIVO

ENSAYO DE TRACCIÓN:

- **RANGO DE MEDIDA:** 0.06 – 0.02 mm
- **ESPESOR PROMEDIO OBTENIDO DEL ADHESIVO:** 0.04 mm
- **LOCALIZACIÓN DE LA MEDICIÓN:** En la mitad de la unión adhesiva de cada probeta.
- **INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:** Pie de rey (A= 1/50)

ÁREA UTILIZADA EN ENSAYOS DE TRACCIÓN E IMPACTO

- **AREA UTILIZADA ENSAYO DE TRACCIÓN:** 3.22 cm² equivalente 0.49 pulg².

ALMACENAJE DE LA PROBETA PREVIO AL ENSAYO

- **ALMACENAJE:** En un lugar aislado de la humedad, cubierto con papel.

NUMERO DE PROBETAS

- **Nº= 3** Por cada adhesivo, para el ensayo de tracción y pelado

NÚMERO DE JUNTAS REPRESENTADAS.

- **Nº= 1**
- **TIPO DE JUNTA:** Solape.
- **TIPO DE JUNTA PARA ENSAYO DE PELADO:** En T

MÁQUINA UTILIZADA EN EL ENSAYO DE PELADO



Fig 7.26 Maquina utilizada para el ensayo de tracción y pelado.

- **VELOCIDAD** Se trabajo con una velocidad de 254 mm/min por las condiciones de la máquina
- **FUERZA MÁXIMA DE LA MÁQUINA** 5000 N

RESULTADOS

RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN

TIPOS DE FALLO EN PORCENTAJE

- FALLO POR ADHESIÓN: 75%
- FALLO POR COHESIÓN: 15%
- ADHESION AL METAL: MALA



Fig. 7.27 Fallo del adhesivo 2 Ton Epoxy

ESFUERZO ENSAYOS DE TRACCIÓN

- ESFUERZO MÁXIMO DADO POR EL FABRICANTE: 2500 PSI
- ESFUERZO PROMEDIO OBTENIDO: 541.74 PSI

RESULTADOS ENSAYOS DE PELADO

- FUERZA MÁXIMA, MÍNIMA Y PROMEDIO DE PELADO

Probeta A

Mínimo: 2.46 (N)

Máximo: 29.47 (N)

Probeta B

Mínimo: 16.05 (N)

Máximo: 24.75 (N)

Probeta C

Mínimo: 8.44 (N)

Máximo: 11.39 (N)

FUERZA PROMEDIO ALCANZADA: 13.70 (N)



Fig. 7.28 Probeta A del ensayo de Pelado con la resina 2 Ton Epoxy

Probeta A: Presenta un fallo adhesivo



Fig. 7.29 Probeta B del ensayo de Pelado con la resina 2 Ton Epoxy

Probeta B: Presenta un fallo cohesivo al 50%



Fig. 7.30 Probeta C del ensayo de Pelado con la resina 2 Ton Epoxy
Probeta C: Presenta un fallo cohesivo al 50%

COMPARACIÓN DE RESULTADOS

ENSAYOS DE TRACCIÓN

UNIDADES DE FUERZA Y ÁREA	RESULTADOS DE CALCULOS	PERMAPOXI FUERZA	MARINE EPOXI FUERZA	2TON EPOXI FUERZA	SUPER EPOXI FUERZA	POXI BONDER FUERZA
FUERZA RESINAS		3500 PSI	1710 PSI	2500 PSI	2650 PSI	1542PSI=17cm ² 1512 PSI=3.22cm ²
FUERZA EN N	1088,00	1.869,57	1206,62	2955,61	1695,14	
FUERZA EN lbf	244,24	419,70	270,87	663,50	380,54	
ÁREA cm ²	3,23	3,23	3,23	3,23	3,23	
ÁREA pulg ²	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	
ESFUERZO DE PROBETAS EN PSI	488,49	839,402	541,75	1327,01	761,08	

Tabla 7.1 Comparación de resultados del esfuerzo de tracción de los adhesivos.

ENSAYOS DE PELADO

	PernaPoxy	MarineEpoxy	2 ton epoxy	Super epoxy	Poxy Bonder
	Fuerza promedio resina	Fuerza promedio resina	Fuerza promedio resina	Fuerza promedio resina	Fuerza promedio resina
Unidades de Fuerza (II)	11.36	103.2	13.7	145.37	17.16

Tabla 7.2 Comparación de resultados de la fuerza de pelado de los adhesivos.

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES:

Las resinas que fueron utilizadas en los ensayos tenían un tiempo muy largo de curado para que luego de su aplicación, puedan ser usadas para los diferentes propósitos tales como, mecanizar, etc.

Una vez realizados los ensayos se vió que existen adhesivos en la industria ecuatoriana que son aplicables para unir metal- metal tal como se observo en los análisis de resultados.

El adhesivo que se utilizó en los ensayos y que nos ofrece el mayor esfuerzo es el SUPER EPOXY con 1327.01 PSI, comparado con el 2 TON EPOXY cuyo esfuerzo es 541.7 PSI.

El adhesivo que se utilizó en los ensayos y que soporta la mayor fuerza promedio de pelado es el SUPER EPOXY con 145.37 N, comparado con el 2 TON EPOXY cuya fuerza de pelado promedio es 13.7 N.

Por lo tanto se puede concluir que el adhesivo SUPER EPOXY es el mejor de los 5 empleados en nuestro estudio.

La máquina utilizada para los ensayos de tracción y pelado no fue la adecuada, por lo que no se podía regular el régimen de velocidad de aplicación de la carga en los valores de la norma, por lo tanto no se pudo apreciar de manera precisa todas las propiedades de los adhesivos.

Se pudo comprobar que dentro del mercado ecuatoriano no se encuentra una gran variedad de adhesivos estructurales, y los que se encuentran no ofrecen las mismas ventajas que los existentes en otros países.

El esfuerzo (σ) que tolera las uniones con adhesivos, dependen principalmente de las fuerzas de cohesión y adhesión, cuyas propiedades mecánicas pueden

variar por la temperatura y otros factores.

El proceso de curado se da mediante un cambio de estado del adhesivo, de líquido o pastoso a sólido. Este proceso no es reversible.

Los adhesivos no son utilizados en gran proporción en la industria ecuatoriana, por lo que su comercialización es muy reducida.

La mayoría de los adhesivos que se utilizan en la industria ecuatoriana solo se las puede conseguir bajo pedido, dependiendo de la aplicación, propiedades entre otros factores.

En la industria ecuatoriana se esta utilizando para unir partes de carrocerías donde los esfuerzos no sean muy elevados.

8.2 RECOMENDACIONES:

Realizar una adecuada limpieza superficial a los sustratos o adherentes, previo a la aplicación de los adhesivos, para obtener los resultados deseados.

Es necesario realizar la mezcla de la resina y el endurecedor en un ambiente ventilado y utilizar protección personal, para evitar la inhalación de vapores tóxicos y el contacto con la piel porque causa irritación.

Mezclar bien los 2 componentes para obtener los resultados deseados en la unión adhesiva. En esta etapa y para aplicación de grandes cantidades se debe tener mejor control de las masas de cada componente y procurar que la mezcla sea homogénea.

Se debe tratar de dejar el mismo espesor del adhesivo a lo largo del área de aplicación, para obtener una mejor adhesión de la probeta.

Luego de realizar la mezcla (resina, endurecedor), en los adhesivos de consistencia pastosa se debe aplicar de manera inmediata al las superficies a adherir porque se endurecen de manera rápida.

Luego de colocado el adhesivo es necesario aplicar presión homogénea en el área pegada para que el adhesivo se expanda por la superficie y se obtenga un mejor pegado.

Se recomienda almacenar las probetas ya curadas en un lugar seco y de preferencia protegidos con papel para evitar la oxidación al momento de realizar los ensayos.

Tapar correctamente los envases de los adhesivos para que no se sequen y así poder volver a utilizarlos.

Mecanizar las superficies de contacto de las probetas de ensayo, para obtener una rugosidad N7, y así, el contacto superficial será más homogéneo.

BIBLIOGRAFÍA

O.E.A. "Revista Latinoamericana de metalurgia y materiales", Washington/O.E.A./1986.

HORWITZ, Heary "Soldadura Aplicaciones y Práctica" Mexico /Alfaomega/1997

LOVE, "Welding Procedures & Applications", Printed in Mexico, Copyright©, 1975 by Prentice-Hall.

MALISHEV, A., NICOLAIEV, G., SHUVALOV, Y. "Tecnología de los metales". Moscú/Mir/1975.ç

⁵AMERICAN WELDING SOCIETY, "Manual de Soldadura"

⁴LEE, Henry, NEVELLE, Kris "Epoxy Resins, their Applications and Technology", New York/Mc Graw Hill/1957.

³SKEIST, Irving, "Epoxy Resins", New York/Reinhold/1985.

GOLDING, Brage "Polymers and resins" Princeton, New Jersey/D. Van Nostrand/1959

² LEE, Henry, "Handbook of Epoxy Resins", New York/ McGraw-Hill/ 1967.

CAGLE, Charles V., "Handbook of adhesive bonding" New York/McGraw-Hill/1973

CENDES, "Mercado Ecuatoriano de Resinas Sintéticas" Quito/Cendes/1974

www.alfa-editores.com

¹www.loctite.com

⁶www.etsii.upm.es

⁷www.pinmar.com

⁸materiales.unex.es/download/adhesivos.pdf

⁹www.henkel.com

¹⁰www.monografias.com.

www.revistacesvimap.com

www.nordson.com.mx

www.wessex-resins.com

www.infomadera.net

www.alfa-editores.com

www.raflatac.com

www.etsii.upm.es

www.permabond.com

www.epoxysystems.com

www.infomecanica.com

www.oepm.es

ANEXOS

**ANEXO A.- NORMAS MAS UTILIZADAS PARA LOS
ENSAYOS DE ADHESIVOS**

NORMAS ASTM

Normas más empleadas para los ensayos de los adhesivos, esta se ha extraída del libro anual de normas ASTM de 1997, volumen 15.06 sobre "Adhesivos". Para mayor facilidad de uso de seta norma se detallara a continuación la simbología de cada una:

- El código que identifica cada norma incluye en formato de dos cifras (por ejemplo 97), después de un guión, el año original de adopción del estándar o, en caso de revisión, el año en que tuvo lugar.
- Las letras que siguen al año significan que se han realizado varias revisiones durante ese año (a = 2 revisiones, b = tres revisiones, etc.).
- Las normas aprobadas sin cambios se indican con el año completo en el que se volvieron a aprobar entre paréntesis.
- Las épsilon indican cambios de editorial desde la última revisión o aprobación.
- El número que sigue indica el número de revisiones ($\epsilon_1=1$ revisión, $\epsilon_2=2$ revisiones, etc.).
- Las referencias marcadas con el símbolo \$ han sido aprobadas para su empleo por el Departamento de Defensa Americano.
- La referencia marcada con el símbolo ♣ corresponde a una norma extraída oficialmente de un estándar de una Sociedad

Luego de ver la simbología vamos a nombrar los diferentes ensayos existentes en esta norma:

C557-93a: Specification for Adhesives for Fastening Gypsum Wallboard to Wood Framing.

\$D896-92: Test Method for Resistance of Adhesive Bonds to Chemical Reagents.

\$D897-95a: Test Method for Tensile Properties of Adhesive Bonds.

\$D898-96: Test Method for Applied Weight per Unit Area of Dried Adhesive Solids.

\$D899-94: Test Method for Applied Weight per Unit Area of Liquid Adhesive.

\$D903-93: Test Method for Peel or Stripping Strength of Adhesive Bonds.

D904-94: Practice for Exposure of Adhesive Specimens to Artificial Light.

\$D905-94: Test Method for Strength Properties of Adhesive Bonds in Shear by Compression Loading.

\$D906-94a: Test Method for Strength Properties of Adhesives in Plywood Type

Construction in Shear by Tension Loading.

D907-96a: Terminology of Adhesives.

\$D950-94: Test Method for Impact Strength of Adhesive Bonds.

\$D1002-94: Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal-to-Metal).

\$D1062-96 ϵ 1: Test Method for Cleavage Strength of Metal-to-Metal Adhesive Bonds.

\$D1084-88: Test Methods for Viscosity of Adhesives.

D1101-92: Test Methods for Integrity of Glue Joints in Structural Laminated Wood Products for Exterior Use.

D1144-94: Practice for Determining Strength Development of Adhesive Bonds.

\$D1146-88 (1994) ϵ 1: Test Method for Blocking Point of Potentially Adhesive Layers.

\$D1151-90 (1995): Test Method for Effect of Moisture and Temperature on Adhesive Bonds.

\$D1183-96 ϵ 1: Test Methods for Resistance of Adhesives to Cyclic Laboratory Ageing Conditions.

\$D1184-93: Test Method for Flexural Strength of Adhesive Bonded Laminated Assemblies.

D1304-93: Test Methods for Adhesives Relative to Their Use as Electrical Insulation.

D1337-96: Test Method for Storage Life of Adhesives by Consistency and Bond Strength.

D1338-91: Test Method for Working Life of Liquid or Paste Adhesives by Consistency and Bond Strength.

\$D1488-96: Test Method for Amylaceous Matter in Adhesives.

\$D1489-93: Test Method for Nonvolatile Content of Aqueous Adhesives.

D1490-96 ϵ 1: Test Method for Nonvolatile Content of Urea-Formaldehyde Resin Solutions.

\$D1579-92: Test Method for Filler Content of Phenol, Resorcinol, and Melamine Adhesives.

\$D1582-93: Test Method for Nonvolatile Content of Liquid Phenol, Resorcinol, and Melamine Adhesives.

\$D1583-96: Test Method for Hydrogen Ion Concentration of Dry Adhesive Films.

\$D1780-94: Practice for Conducting Creep Tests of Metal-to-Metal Adhesives.

\$D1781-93: Method for Climbing Drum Peel Test for Adhesives.

D1828-96: Practice for Atmospheric Exposure of Adhesive-Bonded Joints and Structures.

D1874-62 (1993) ϵ 1: Specification for Water or Solvent-Soluble Liquid Adhesives for Automatic Machine Sealing of Top Flaps of Fiberboard Shipping Cases.

\$D1875-95: Test Method for Density of Adhesives in Fluid Form.

\$D1876-95: Test Method for Peel Resistance of Adhesives (T-Peel Test).

D1879-70 (1994): Practice for Exposure of Adhesive Specimens to High-Energy Radiation.

D1916-93: Test Method for Penetration of Adhesives.

D1994-95: Test Method for Determination of Acid Numbers of Hot-Melt Adhesives.

D1995-92: Test Method for Multi-Modal Strength of Autoadhesives (Contact Adhesives).

D2093-92: Practice for Preparation of Surfaces of Plastics Prior to Adhesive Bonding.

D2094-91 (1995): Practice for Preparation of Bar and Rod Specimens for Adhesion Tests.

D2095-96 ϵ 1: Test Method for Tensile Strength of Adhesives by Means of Bar and Rod Specimens.

D2293-96: Test Method for Creep Properties of Adhesives in Shear by Compression Loading (Metal-to-Metal).

D2294-96: Test Method for Creep Properties of Adhesives in Shear by Tension Loading (Metal-to-Metal).

D2295-96: Test Method for Strength Properties of Adhesives in Shear by Tension Loading at Elevated Temperatures (Metal-to-Metal).

D2339-94093a: Test Method for Strength Properties of Adhesives in Two-Ply Wood Construction in Shear by Tension Loading.

D2556-93a: Test Method for Apparent Viscosity of Adhesives Having Shear-Rate-Dependent Flow Properties.

D2557-93: Test Method for Tensile-Shear Strength of Adhesives in the Subzero Temperature Range from -267.8 to -55°C (-450 to 67°F).

- D2559-92 (1996): Specification for Adhesives for Structural Laminated Wood Products for Use Under Exterior (Wet Use) Exposure Conditions.
- D2651-90 (1995): Practice for Preparation of Metal Surfaces for Adhesive Bonding.
- D2674-72 (1994): Methods of Analysis of Sulfochromate Etch Solution Used in Surface Preparation of Aluminium.
- D2739-90 (1995): Test Method for Volume Resistivity of Conductive Adhesives.
- D2851-86 (1993) $\epsilon 1$: Specification for Liquid Optical Adhesive.
- D2918-93: Practice for Durability Assessment of Adhesive Joints Stressed in Peel.
- \$D2919-95: Test Method for Determining Durability of Adhesive Joints Stressed in Shear by Tension Loading.
- D2979-95: Test Method for Pressure-Sensitive Tack of Adhesives Using an Inverted Probe Machine.
- D3110-95: Specification for Adhesives Used in Laminate Joints for Nonstructural Glued Lumber Products (Discontinued 1997♣).
- D3111-88 (1994) $\epsilon 1$: Test Method for Flexibility Determination of Hot-Melt Adhesives by Mandrel Bend Test Method.
- D3121-94: Test Method for Tack of Pressure- Sensitive Adhesives by Rolling Ball.
- D3163-96: Test Method for Determining Strength of Adhesively Bonded Rigid Plastic Lap-Shear Joints in Shear by Tension Loading.
- D3164-92a: Test Method for Strength Properties of Adhesively Bonded Plastic Lap-Shear Sandwich Joints in Shear by Tension Loading.
- D3165-95: Test Method for Strength Properties of Adhesives in Shear by Tension Loading of Laminated Assemblies.
- D3166-93: Test Method for Fatigue Properties of Adhesives in Shear by Tension Loading (Metal / Metal).
- D3167-93: Test Method for Floating Roller Peel Resistance of Adhesives.
- D3310-90 (1995): Test Method for Determining Corrosivity of Adhesives Materials.
- D3433-93: Practice for Fracture Strength in Cleavage of Adhesives in Bonded Metal Joints.
- D3434-96: Practice for Multiple-Cycle Accelerated Ageing Test (Automatic Boil Test) for Exterior Wet Use Wood Adhesives.
- \$D3482-90 (1995): Test Method for Determining Electrolytic Corrosion of Copper

by Adhesives.

D3498-93: Specification for Adhesives for Field-Gluing Plywood to Lumber Framing for Floor Systems.

D3528-96: Test Method for Strength Properties of Double Lap Shear Adhesive Joints by Tension Loading.

D3535-92 (1996): Test Method for Resistance to Deformation Under Static Loading for Structural Wood Laminating Adhesives Used Under Exterior (Wet Use) Exposure Conditions.

D3632-77 (1990) $\epsilon 1$: Test Method for Accelerated Ageing of Adhesive Joints by the Oxygen-Pressure Method.

D3658-90 (1995): Test Method for Determining the Torque Strength of Ultraviolet (UV) Light-Cured Glass/Metal Adhesives Joints.

D3762-79 (1993) $\epsilon 1$: Test for Adhesive- Bonded Surface Durability of Aluminium (Wedge Test).

D3807-93: Test Method for Strength Properties of Adhesives in Cleavage Peel by Tension Loading (Engineering Plastics-to- Engineering Plastics).

D3808-96: Practice for Qualitative Determination of Adhesion of Adhesives to Substrates by Spot Adhesion Test Method.

D3929-96 $\epsilon 1$: Test Method for Evaluating the Stress Cracking of Plastics by Adhesives Using the Bent-Beam Method.

D3930-93: Specification for Adhesives for Wood-Based Materials for Construction of Manufactured Homes.

D3931-93: Test Method for Determining Strength of Gap-Filling Adhesive in Shear by Compression Loading.

D3933-93: Guide for Preparation of Aluminium Surfaces for Structural Adhesives Bonding (Phosphoric Acid Anodizing).

D3983-93: Test Method for Measuring Strength and Shear Modulus of Nonrigid Adhesives by the Thick-Adherend Tensile- Lap Specimen.

D4027-93: Test Method for Measuring Shear Properties of Structural Adhesives by the Modified-Rail Test

\$D4300-93: Test Method for Ability of Adhesive Films to Support or Resist the Growth of Fungi.

\$D4317-94: Specification for Polyvinyl Acetate-Based Emulsion Adhesives.

\$D4338-90: Test Method for Flexibility Determination of Supported Adhesive Films by Mandrel Bend Test Method.

\$D4339-95: Test Method for Determination of the Odour of Adhesives.

D4426-96: Test Method for Determination of Percent Nonvolatile Content of Liquid Phenolic Resins Used for Wood Laminating.

D4497-94: Test Method for Determining the Open Time of Hot Melt Adhesives (Manual Method).

D4498-95: Test Method for Heat-Fail Temperature in Shear of Hot Melt Adhesives.

D4499-95: Test Method for Heat Stability of Hot-Melt Adhesives.

\$D4500-95: Test Method for Determining Grit, Lumps, or Undissolved Matter in Water- Borne Adhesives.

D4501-95: Test Method for Shear Strength of Adhesive Bonds Between Rigid Substrates by the Block-Shear Method.

D4502-92: Test Method for Heat and Moisture Resistance of Wood-Adhesive Joints.

D4562-90 (1995) ε1: Test Method for Shear Strength of Adhesives Using Pin-and-Collar Specimen.

D 4680-92: Test Method for Creep and Time to Failure in Static Shear by Compression Loading (Wood-to-Wood).

D4688-95: Test Methods for Evaluating Structural Adhesives for Finger Jointing Lumber.

\$D4689-95a: Specification for Adhesive, Casein-Type.

\$D4690-95a: Specification for Urea-Formaldehyde Resin Adhesives.

\$D4783-93: Test Methods for Resistance of Adhesive Preparations in Container to Attack by Bacteria, Yeast, and Fungi.

D4800-94: Guide for Classifying and Specifying Adhesives.

D4896-95: Guide for Use of Adhesive-Bonded Single Lap-Joint Specimen Test Results.

\$D5040-90: Test Methods for Ash Content of Adhesives.

D5041-93b: Test Methods for Fracture Strength in Cleavage of Adhesives in Bonded Joints.

D5113-90: Test Methods for Determining Adhesive Attack on Rigid Cellular Polystyrene Foam.

D5215-93: Test Methods for Instrumental Evaluation of Staining of Vinyl Flooring by Adhesives.

D5266-92: Practice for Estimating the Percentage of Wood Failure in Adhesive Bonded Joints.

D5267-92: Test Method for Determination of Extrudability of Cartridge Adhesives.

D5364-93: Specification for Anaerobic Single- Component Adhesives (AN).

D5572-95 ϵ 1: Specification for Adhesives used for Finger Joints in Nonstructural Lumber Products.

D5573-94: Practice for Classifying Failure Modes in Fiber-Plastic (FRP) Joints.

D5574-94: Test Method for Establishing Allowable Mechanical Properties of Wood- Bonding Adhesives for Design of Structural Joints.

D5648-94: Test Method for Torque-Tension Relationship of Adhesives Used on Threaded Fasteners (Lubricity).

D5649-94: Test Method for Torque Strength of Adhesives Used on Threaded Fasteners (Lubricity).

D5656-95: Test Method for Thick Adherend Metal Lap-Shear Joints for Determination of the Stress-Strain Behavior of Adhesives in Shear by Tension Loading.

D5657-95: Test Method for Fluid Tightness Ability of Adhesives Used on Threaded Fasteners.

D5751-95: Specification for Adhesives Used for Laminate Joints in Nonstructural Lumber Products.

D5824-95: Test Method for Determining Resistance to Delamination of Adhesive Bonds in Overlay-Wood Core Laminates Exposed to Heat and Water.

D5868-95: Test Method for Lap Shear Adhesion for Fiber Reinforced Plastic (FRP) Bonding.

D5999-96: Test Method for Noninterference of Adhesives in Repulping.

D6004-96: Test Method for Determining Adhesive Shear Strength of Carpet Adhesives.

D6005-96: Test Method for Determining Slump Resistance of Carpet Adhesives.

E229-92: Test Method for Shear Strength and Shear Modulus of Structural Adhesives.

NORMAS ISO

Normas ISO más empleadas para los ensayos de los adhesivos:

ISO 4578:1997 Adhesives — Determination of peel resistance of high-strength adhesive bonds — Floating-roller method (ED. 3; 6 P; C)

ISO 4587:1995 Adhesives — Determination of tensile lap-shear strength of rigid-to-rigid bonded assemblies (ED. 2; 4 P; B)

ISO 4588:1995 Adhesives — Guidelines for the surface preparation of metals (ED. 2; 7 P; D)

ISO 6237:1987 Adhesives — Wood-to-wood adhesive bonds — determination of shear strength by tensile loading (ED. 1; 8 P; D)

ISO 6238:1987 Adhesives — Wood-to-wood adhesive bonds — determination of shear strength by compression loading (ED. 1; 8 P; D)

ISO 6922:1987 Adhesives — Determination of tensile strength of butt joints (ED. 1; 3 P; B)

ISO 7387-1:1983 Adhesive — With solvents for assembly of PVC-U pipe elements — characterisation — Part 1: Basic test methods (ED. 1; 10 P; E)

ISO 8510-1:1990 Adhesives — Peel test for a flexible-bonded-to-rigid test specimen assembly — Part 1: 90 degree peel (ED. 1; 5 P; C)

ISO 8510-2:1990 Adhesives — Peel test for a flexible-bonded-to-rigid test specimen assembly — Part 2: 180 degree peel (ED. 1; 5 P; C)

ISO 9142:1990 Adhesives — Guide to the selection of standard laboratory ageing conditions for testing bonded joints (ED. 1; 20 P; K)

ISO 9142:1990/COR 1:1995 (ED. 1; 1 P; *)

ISO 9653:1998 Adhesives — Test method for shear impact strength of adhesive bonds (ED. 2; 6 P; C)

ISO 9664:1993 Adhesives — Test methods for fatigue properties of structural adhesives in tensile shear (ED. 1; 10 P; E)

ISO 9665:1998 Adhesives — Animal glues — Methods of sampling and testing (ED. 2; 23P; L)

ISO 10123:1990 Adhesives — Determination of shear strength of anaerobic adhesives using pin-and-collar specimens (ED. 1; 4 P; B)

ISO 10354:1992 Adhesives — Characterisation of durability of structural-adhesive-

- bonded assemblies — Wedge rupture test (ED. 1; 4 P; B)
- ISO 10363:1992 Hot-Melt Adhesives — Determination of thermal stability (ED. 1; 3P; B)
- ISO 10364:1993 Adhesives — Determination of working life (pot life) of multi-component adhesives (ED. 1; 3 P; B)
- ISO 10365:1992 Adhesives — Designation of main failure patterns (ED. 1; 3 P; B)
- ISO 10964:1993 Adhesives — Determination of torque strength of anaerobic adhesives on threaded fasteners (ED. 1; 4 P; B)
- ISO 11003-1:1993 Adhesives — Determination of shear behaviour of structural bonds — Part 1: Torsion test method using butt-bonded hollow cylinders (ED. 1; 7 P; D)
- ISO 11003-2:1993 Adhesives — Determination of shear behaviour of structural bonds — Part 2: Thick-adherend tensile-test method (ED.1; 12P; F)
- ISO 11339:1993 Adhesives — 180 degree peel tests for flexible-to-flexible bonded assemblies (T-peel test) (ED. 1; 3 P; B)
- ISO 11343:1993 Adhesives — Determination of dynamic resistance to cleavage of high strength adhesive bonds under impact conditions— Wedge impact method (ED. 1; 6 P; C)
- ISO 13445:1995 Adhesives — Determination of shear strength of adhesive bonds between rigid substrates by the block-shear method (ED.1; 4 P; B)
- ISO 13895:1996 Adhesives — Guidelines for the surface preparation of plastics (ED. 1; 7P; D)
- ISO 14615:1997 Adhesives — Durability of structural adhesive joints — Exposure to humidity and temperature under load (ED. 1; 8 P; D)
- ISO 14676:1997 Adhesives — Evaluation of the effectiveness of surface treatment techniques for aluminium — Wet-peel test by floating- roller method (ED. 1; 4 P; B)
- ISO 14679:1997 Adhesives — Measurement of adhesion characteristics by a three-point bending method (ED. 1; 11 P; F)
- ISO 15107:1998 Adhesives — Determination of cleavage strength of bonded joints (ED. 1; 5 P; C)
- ISO 15108:1998 Adhesives — Determination of strength of bonded joints using a bending-shear method (ED. 1; 4 P; B)
- ISO 15109:1998 Adhesives — Determination of the time to rupture of bonded

joints under static load (ED. 1; 4 P; B)

ISO 15166-1:1998 Adhesives — Methods of preparing bulk specimens — Part 1: Two-part systems (ED. 1; 5 P; C)

NORMAS UNE

Normas UNE para la caracterización de adhesivos:

UNE 104236:1988 Impermeabilización. Materiales bituminosos y bituminosos modificados. Pegamentos bituminosos.

UNE 104281-5-1:1990 Materiales bituminosos y bituminosos modificados. Pinturas y adhesivos. Métodos de ensayo. Toma de muestras.

UNE 104281-5-17:1988 Materiales bituminosos y bituminosos modificados. Pinturas y adhesivos. Métodos de ensayo. Envejecimiento artificial acelerado con tubos fluorescentes de luz U.V.

UNE 104281-5-2:1986 Materiales bituminosos y bituminosos modificados. Pinturas y adhesivos. Métodos de ensayo. Conservación en el envase.

UNE 104281-5-3:1986 Materiales bituminosos y bituminosos modificados. Pinturas y adhesivos. Métodos de ensayo. Estabilidad a la dilución.

UNE 104281-5-7:1987 Materiales bituminosos y bituminosos modificados. Pinturas y adhesivos. Métodos de ensayo. Materia fija y volátil.

UNE 104281-5-8:1986 Materiales bituminosos y bituminosos modificados. Pinturas y adhesivos. Métodos de ensayo. Contenido de agua.

UNE 21356/1C:1984 Materiales aislantes eléctricos. Cintas adhesivas sensibles a la presión. Condiciones generales y métodos de ensayo.

UNE 21356:1978 Materiales aislantes eléctricos. Cintas adhesivas sensibles a la presión. Condiciones generales y de ensayo.

UNE 21357-1:1977 Materiales aislantes eléctricos. Cintas adhesivas sensibles a la presión. Especificaciones para cintas de PVC plastificado con adhesivo no termoendurecible.

UNE 21357-2:1980 Materiales aislantes eléctricos. Cintas adhesivas sensibles a la presión. Especificaciones para cintas de papel celulosa corrugado con adhesivos termoendurecibles.

UNE 21357-3:1983 Materiales aislantes eléctricos. Cintas adhesivas sensibles a

la presión. Especificaciones para cintas de papel celulosa con adhesivos termoendurecibles.

UNE 21357-4:1983 Materiales aislantes eléctricos. Cintas adhesivas sensibles a la presión.

Especificaciones para cintas de película de poliéster (PETP) con adhesivo termoendurecible.

UNE 21357-5:1983 Materiales aislantes eléctricos. Cintas adhesivas sensibles a la presión.

Especificaciones para cintas de película de poliéster (PETP) con adhesivo no termoendurecible.

UNE 21357-6:1991 Materiales aislantes eléctricos. Cintas adhesivas sensibles a la presión.

Especificaciones para cintas de película de policarbonato con adhesivo no termoendurecible.

UNE 21357-7:1991 Materiales aislantes eléctricos. Cintas adhesivas sensibles a la presión.

Especificaciones para cintas de película de poliamida con adhesivo termoendurecible.

UNE 53038:1955 Materiales plásticos. Determinación de la adherencia en adhesivos para madera.

UNE 53174:1985 Plásticos. Adhesivos para uniones encoladas de tubos y accesorios de poli (cloruro de vinilo) no plastificado utilizadas en conducciones de fluidos con o sin presión. Características.

UNE 53175:1985 Plásticos. Adhesivos para uniones encoladas de tubos y accesorios de poli (cloruro de vinilo) no plastificado utilizadas en conducciones de fluidos con o sin presión. Métodos de ensayo

UNE 53355:1980 Plásticos. Métodos de toma de muestra de los adhesivos y de sus materias primas.

UNE 53357:1981 Plásticos. Adhesivos. Determinación del extracto seco en adhesivos, colas y productos similares que contengan disolventes orgánicos.

UNE 56702-1:1969 Colas. Terminología.

UNE 56702-2:1969 Colas. Clasificación.

UNE 59032:1988 Calzado. Ensayo de adhesivos en medio disolvente y en

dispersión. Comprobación de la aptitud al pegado de materiales.

UNE-EN 1066:1997 Adhesivos. Toma de muestras.

UNE-EN 1067:1997 Adhesivos. Examen y preparación de muestras para ensayo.

UNE-EN 12002:1997 Adhesivos para baldosas cerámicas. Determinación de la deformación transversal de adhesivos y materiales de rejuntado cementosos.

UNE-EN 12003:1997 Adhesivos para baldosas cerámicas. Determinación de la resistencia a la cizalladura de los adhesivos de resinas reactivas.

UNE-EN 12023:1997 Cintas autoadhesivas. Medida de la transmisión de vapor de agua en una atmósfera cálida y húmeda.

UNE-EN 12024:1996 Cintas autoadhesivas. Medida de la resistencia a la temperatura y humedad elevadas.

UNE-EN 12025:1996 Cintas autoadhesivas. Medida de la resistencia al desgarro por el método del péndulo.

UNE-EN 12026:1996 Cintas autoadhesivas. Medida de la fuerza de desenrollado a alta velocidad.

UNE-EN 12027:1996 Cintas autoadhesivas. Medida de la resistencia a la llama.

UNE-EN 12028:1996 Cintas autoadhesivas. Medida del alargamiento bajo una carga estática.

UNE-EN 12029:1996 Cintas autoadhesivas. Determinación de iones corrosivos solubles en agua.

UNE-EN 12030:1996 Cintas autoadhesivas. Medida de la resistencia al impacto.

UNE-EN 12031:1996 Cintas autoadhesivas. Medida de la resistencia al estallido.

UNE-EN 12032:1996 Cintas autoadhesivas. Medida de la adhesión de cintas adhesivas termoendurecibles durante su curado.

UNE-EN 12033:1996 Cintas autoadhesivas. Medida de la adhesión de cintas adhesivas termoendurecibles después de su curado.

UNE-EN 12034:1996 Cintas autoadhesivas. Medida de la longitud de un rollo de cinta adhesiva.

UNE-EN 12036:1996 Cintas autoadhesivas. Penetración del disolvente en cintas adhesivas enmascaradoras.

UNE-EN 1239:1999 Adhesivos. Estabilidad congelación - descongelación.

UNE-EN 1240:1999 Adhesivos. Determinación del valor de hidroxilo y/o del contenido de hidroxilo.

UNE-EN 1241:1999 Adhesivos. Determinación del índice de acidez.

UNE-EN 1242:1999 Adhesivos. Determinación del contenido de isocianato.

UNE-EN 1243:1999 Adhesivos. Determinación del formaldehído libre en los condensados de amino y amidoformaldehído.

UNE-EN 1244:1999 Adhesivos. Determinación del color y/o cambios de color de revestimientos adhesivos bajo la influencia de la luz.

UNE-EN 1245:1999 Adhesivos. Determinación del pH. Método de ensayo.

UNE-EN 1246:1999 Adhesivos. Determinación del contenido de cenizas total del contenido de cenizas sulfatadas.

UNE-EN 1308/A1:1999 Adhesivos para baldosas cerámicas. Determinación del deslizamiento.

UNE-EN 1308:1997 Adhesivos para baldosas cerámicas. Determinación del deslizamiento.

UNE-EN 1322/A1:1999 Adhesivos para baldosas cerámicas. Definiciones y terminología.

UNE-EN 1322:1997 Adhesivos para baldosas cerámicas. Definiciones y terminología.

UNE-EN 1323/A1:1999 Adhesivos para baldosas cerámicas. Placas de hormigón para ensayos.

UNE-EN 1323:1997 Adhesivos para baldosas cerámicas. Placas de hormigón para ensayos.

UNE-EN 1324/A1:1999 Adhesivos para baldosas cerámicas. Determinación de la resistencia a la cizalladura de los adhesivos de dispersión.

UNE-EN 1324:1997 Adhesivos para baldosas cerámicas. Determinación de la resistencia a la cizalladura de los adhesivos de dispersión.

UNE-EN 1346/A1:1999 Adhesivos para baldosas cerámicas. Determinación del tiempo abierto.

UNE-EN 1346:1997 Adhesivos para baldosas cerámicas. Determinación del tiempo abierto.

UNE-EN 1347/A1:1999 Adhesivos para baldosas cerámicas. Determinación de la capacidad humectante.

UNE-EN 1347:1997 Adhesivos para baldosas cerámicas. Determinación de la capacidad humectante.

UNE-EN 1348/A1:1999 Adhesivos para baldosas cerámicas. Determinación de la resistencia a la tracción de los aditivos cementosos.

UNE-EN 1348:1997 Adhesivos para baldosas cerámicas. Determinación de la resistencia a la tracción de los adhesivos cementosos.

UNE-EN 1464:1996 Adhesivos. Determinación de la resistencia al pelado en juntas pegadas de alta resistencia. Método del rodillo móvil.

UNE-EN 1465:1996 Adhesivos. Determinación de la resistencia a la cizalladura por tracción de juntas pegadas de sustratos rígidos.

UNE-EN 1939:1997 Cintas autoadhesivas. Medida de la adhesión, sobre acero inoxidable o sobre su propio reverso, mediante pelado.

UNE-EN 1940:1996 Cintas autoadhesivas. Medida de la resistencia a la rotura.

UNE-EN 1941:1996 Cintas autoadhesivas. Medida del alargamiento a la rotura.

UNE-EN 1942:1996 Cintas autoadhesivas. Medida del espesor.

UNE-EN 1943:1996 Cintas autoadhesivas. Medida de la adhesión mediante una fuerza estática de cizalla.

UNE-EN 1944:1996 Cintas autoadhesivas. Medida de la fuerza de desenrollado a baja velocidad.

UNE-EN 1945:1996 Cintas autoadhesivas. Medida de la adhesión instantánea.

UNE-EN 204:1993 Clasificación de adhesivos no estructurales para uniones de madera y productos derivados de la madera. (Versión oficial en 204:1991).

UNE-EN 205:1993 Métodos de ensayo para adhesivos para la madera de uso no estructural. Determinación de la resistencia a la cizalladura de tracción de juntas solapadas. (Versión oficial en 205:1991).

UNE-EN 2243-2:1993 Material aeroespacial. Adhesivos estructurales. Métodos de ensayo. Parte 2: Pelado de metal-metal. (Versión oficial en 2243-2:1991).

UNE-EN 2243-3:1993 Material aeroespacial. Adhesivos estructurales. Métodos de ensayo. Parte 3: Ensayo de pelado metal - núcleo de nido de abeja. (versión oficial en 2243- 3:1991).

UNE-EN 2243-4:1993 Material aeroespacial. Adhesivos estructurales. Métodos de ensayo. Parte 4: Ensayo de tracción perpendicular para metal - nido de abeja. (Versión oficial en 2243-4:1991).

UNE-EN 2243-5:1993 Material aeroespacial. Adhesivos estructurales. Métodos de ensayo. Parte 5: ensayos de envejecimiento. (Versión oficial en 2243-5:1992).

UNE-EN 26922:1995 Adhesivos. Determinación de la resistencia a la tracción de uniones a tope. (ISO 6922:1987). (Versión oficial en 26922:1993).

UNE-EN 28510-1:1995 Adhesivos. Ensayo de pelado para una unión encolada de adherente flexible sobre rígido. Parte 1: Pelado a 90 °. (ISO 8510-1:1990). (Versión oficial en 28510-1:1993).

UNE-EN 28510-2:1995 Adhesivos. Ensayo de pelado para una unión encolada de adherente flexible sobre rígido. Parte 2: Pelado a 180 °. (ISO 8510-2:1990). (Versión oficial en 28510-2:1993).

UNE-EN 29142:1995 Adhesivos. Guía para la selección de condiciones normalizadas de envejecimiento en laboratorio al ensayar juntas pegadas. (ISO 9142:1990).

UNE-EN 29653:1995 Adhesivos. Métodos de ensayo de la resistencia a la cizalladura por impacto en juntas pegadas. (ISO 9653:1991).

UNE-EN 301:1994 Adhesivos para estructuras de madera bajo carga. Adhesivos de policondensación de tipos fenólicos y aminoplásticos. Clasificación y especificaciones de comportamiento. (Versión oficial en 301:1992).

UNE-EN 302-1:1994 Adhesivos para estructuras de madera bajo carga. Métodos de ensayo. Parte 1: Determinación de la resistencia del pegado a la cizalladura por tracción longitudinal. (Versión oficial en 302-1:1992).

UNE-EN 302-2:1994 Adhesivos para estructuras de madera bajo carga. Métodos de ensayo. Parte 2: Determinación de la resistencia a la delaminación (método de laboratorio). (Versión oficial en 302-2:1992).

UNE-EN 302-3:1994 Adhesivos para estructuras de madera bajo carga. Métodos de ensayo. Parte 3: Determinación de la influencia de los tratamientos cíclicos de temperatura y humedad sobre la resistencia a la tracción transversal. (Versión oficial en 302-3:1992).

UNE-EN 302-4:1994 Adhesivos para estructuras de madera bajo carga. Métodos de ensayo. Parte 4: Determinación de la influencia de la contracción sobre la resistencia a la cizalladura. (Versión oficial en 302-4:1992).

UNE-EN 522:1998 Adhesivos para piel y materiales para calzado. Resistencia de la unión. Requisitos mínimos y clasificación de adhesivos.

UNE-EN 542:1996 Adhesivos. Determinación de la densidad.

UNE-EN 543:1996 Adhesivos. Determinación de la densidad aparente de

adhesivos en polvo y en granza.

UNE-EN 60454-1:1997 Cintas adhesivas sensibles a la presión para usos eléctricos. Parte 1: Requisitos generales.

UNE-EN 60454-2:1997 Cintas adhesivas sensibles a la presión para usos eléctricos. Parte 2: Métodos de ensayo.

UNE-EN 60454-3-10:1997 Cintas adhesivas sensibles a la presión para usos eléctricos. Parte 3: Especificaciones para materiales particulares. Hoja 10: Requisitos para cintas de película de acetato-butirato de celulosa con adhesivo de caucho termoendurecible.

UNE-EN 60454-3-13:1997 Cintas adhesivas sensibles a la presión para usos eléctricos. Parte 3: Especificaciones para materiales particulares. Hoja 13: Requisitos para cintas de tela tejida compuestas por mezcla de celulosa y viscosa, con un lado recubierto con material termoplástico y el otro lado con adhesivo de caucho termoendurecible.

UNE-EN 827:1996 Adhesivos. Determinación del contenido en sólidos convencional y del contenido en sólidos a masa constante.

UNE-EN 828:1999 Adhesivos. Mojabilidad. Determinación por medida del ángulo de contacto y de la tensión superficial crítica de la superficie sólida.

UNE-EN 924:1995 Adhesivos. Adhesivos con base disolvente y exentos de disolvente. Determinación del punto de inflamación.

UNE-EN ISO 10363:1996 Adhesivos termofusibles. Determinación de la estabilidad térmica (ISO 10363:1992).

UNE-EN ISO 10365:1996 Adhesivos. Designación de los principales modelos de rotura (ISO 10365:1992).

UNE-EN ISO 10964:1997 Adhesivos. Determinación del par de desmontaje en elementos de fijación roscados encolados con adhesivos anaeróbicos (ISO 10964:1993).

UNE-EN ISO 9664:1996 Adhesivos. Métodos de ensayo para la resistencia a la fatiga por esfuerzo de cizalla de adhesivos estructurales (ISO 9664:1993).

UNE-EN ISO 9665:1996 Adhesivos. Colas animales. Métodos de toma de muestras y ensayo (ISO 9665:1993).

UNE-ENV 1965-1:1997 Adhesivos estructurales. Corrosión. Parte 1: Determinación y clasificación de la corrosión de un sustrato de cobre.

UNE-ENV 1965-2:1997 Adhesivos estructurales. Corrosión. Parte 2: Determinación y clasificación de la corrosión de un sustrato en latón.

UNE-ENV 1966:1998 Adhesivos estructurales. Caracterización de una superficie mediante la medida de la adhesión por el método de flexión en tres puntos.

UNE-ENV 1967:1997 Adhesivos estructurales. Evaluación de la efectividad de las técnicas de tratamiento superficial para aluminio usando un ensayo de pelado húmedo en combinación con el método del rodillo móvil.

PNE-EN 1238 Adhesivos. Determinación de la temperatura de reblandecimiento de adhesivos termoplásticos (anillo y bola).

PNE-EN 1391 Adhesivos para piel y materiales de calzado. Método para evaluar la aptitud al pegado de materiales. Requisitos mínimos y clasificación de materiales.

PNE-EN 1392 Adhesivos para piel y materiales de calzado. Adhesivos en base disolvente y en dispersión. Métodos de ensayo para medir la resistencia de la unión en condiciones específicas.

PNE-EN 923 Adhesivos. Términos y definiciones

**ANEXO B.- ESPECIFICACIÓN ASTM APLICABLES PARA
LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN Y PELADO**

**ANEXO C.- CATÁLOGOS DE SEGURIDAD DE LOS
ADHESIVOS**

**ANEXO C1.- CATÁLOGOS DE SEGURIDAD DEL
ADHESIVOS PERMA POXY**

**ANEXO C2.- CATÁLOGOS DE SEGURIDAD DEL
ADHESIVOS 2TON EPOXY**

**ANEXO C3.- CATÁLOGOS DE SEGURIDAD DEL
ADHESIVOS MARINE EPOXY**

**ANEXO C4.- CATÁLOGOS DE SEGURIDAD DEL
ADHESIVOS SUPER EPOXY**