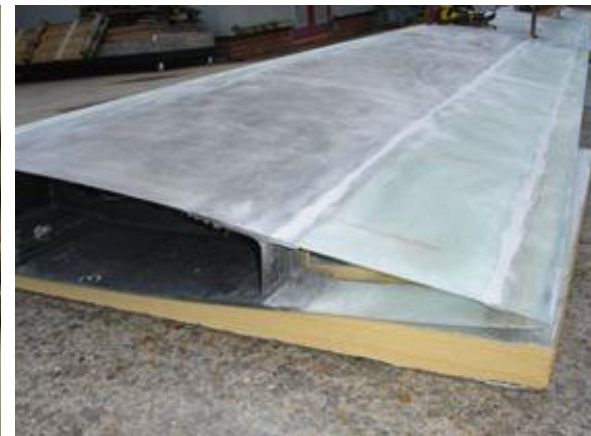
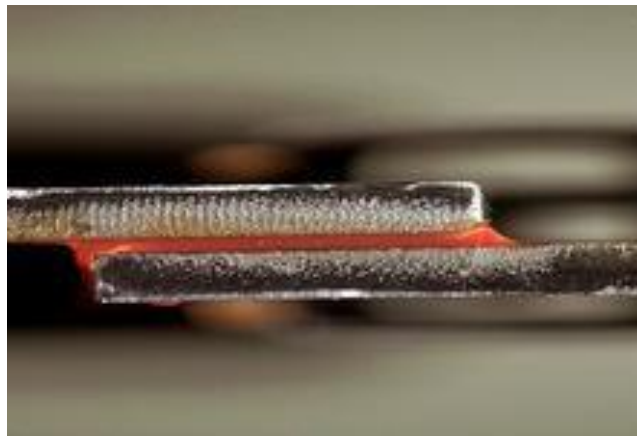




BLOQUE II. OPERACIONES SECUNDARIAS

Tema 5. Tecnologías de unión

Tema 5 – 1. Uniones adhesivas



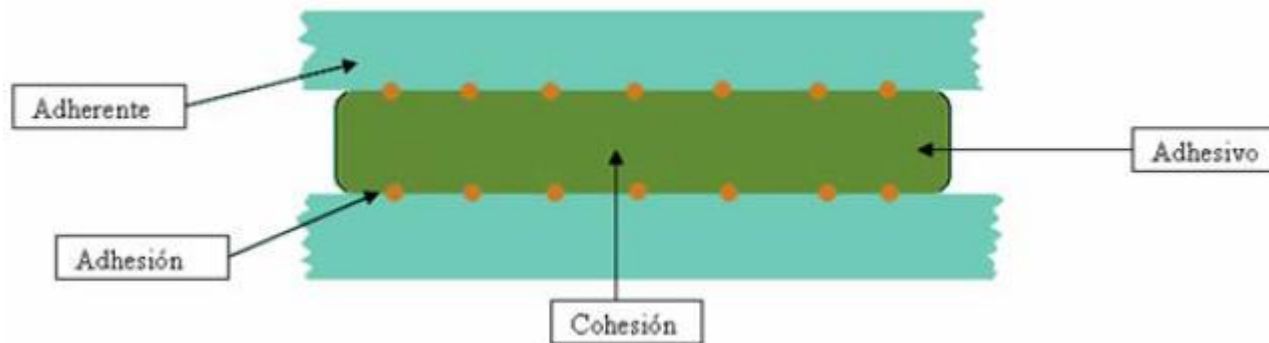


INTRODUCCIÓN

Las uniones en piezas de diferentes materiales deben tener en cuenta diferentes aspectos:

**Coeficiente de
expansión térmica**

**Creación de pares
galvánicos → Diferencias
en el potencial de reducción**





INTRODUCCIÓN

**Distribución más
uniforme de las
tensiones**

**Evita la aparición
de concentradores
de tensiones**

**Mayor área de unión
→ Incremento de la
resistencia a pandeo**

**No se modifica la
calidad superficial**

Ligereza

**Se evitan problemas de
creación de pares galvánicos
dentro de la unión**

**Unión
permanente**

**Preparación
superficial
requerida**

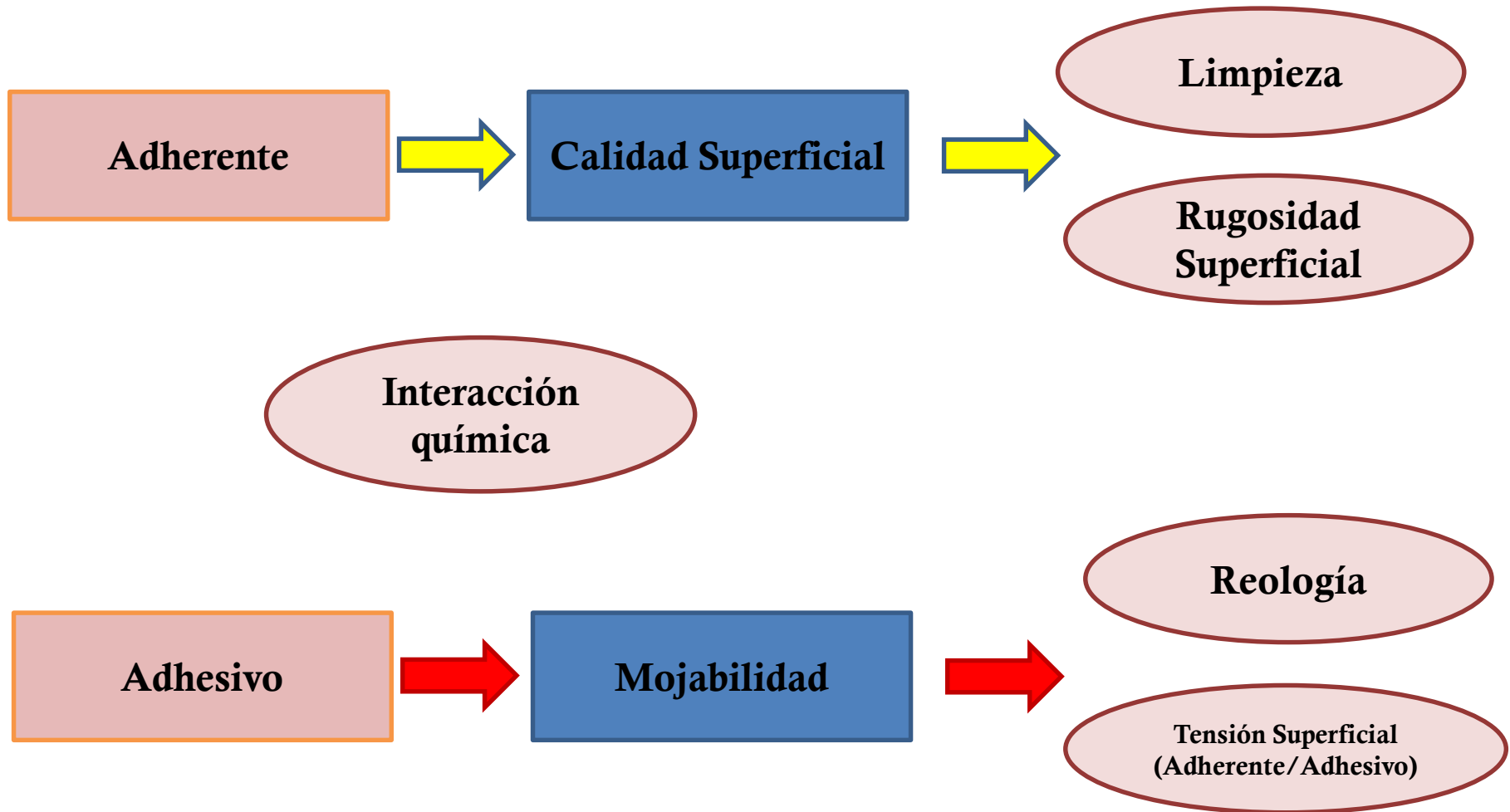
**Generalmente
perecedero**

Durabilidad



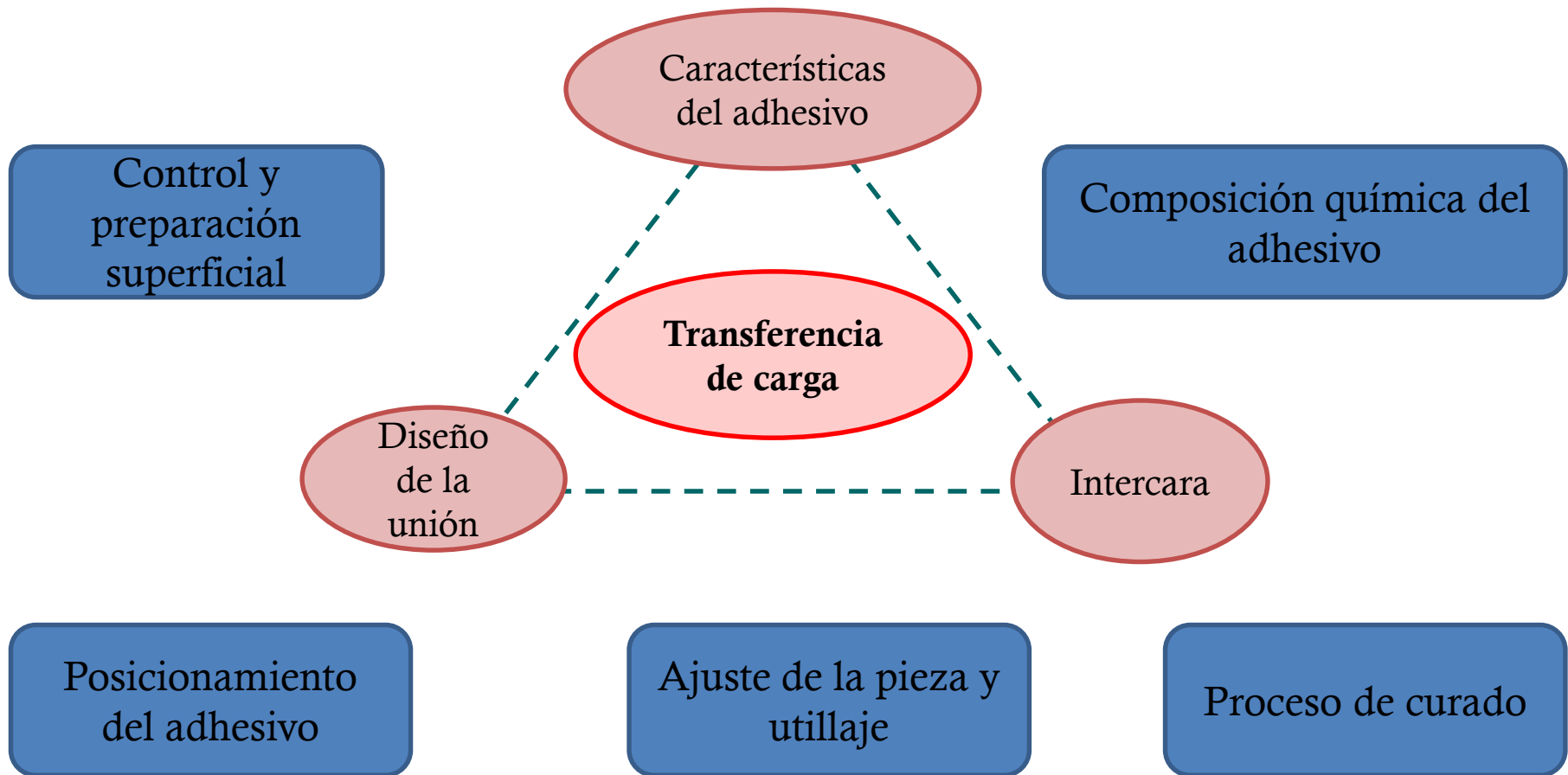
INTRODUCCIÓN

Aspectos que afectan a la calidad de la unión:

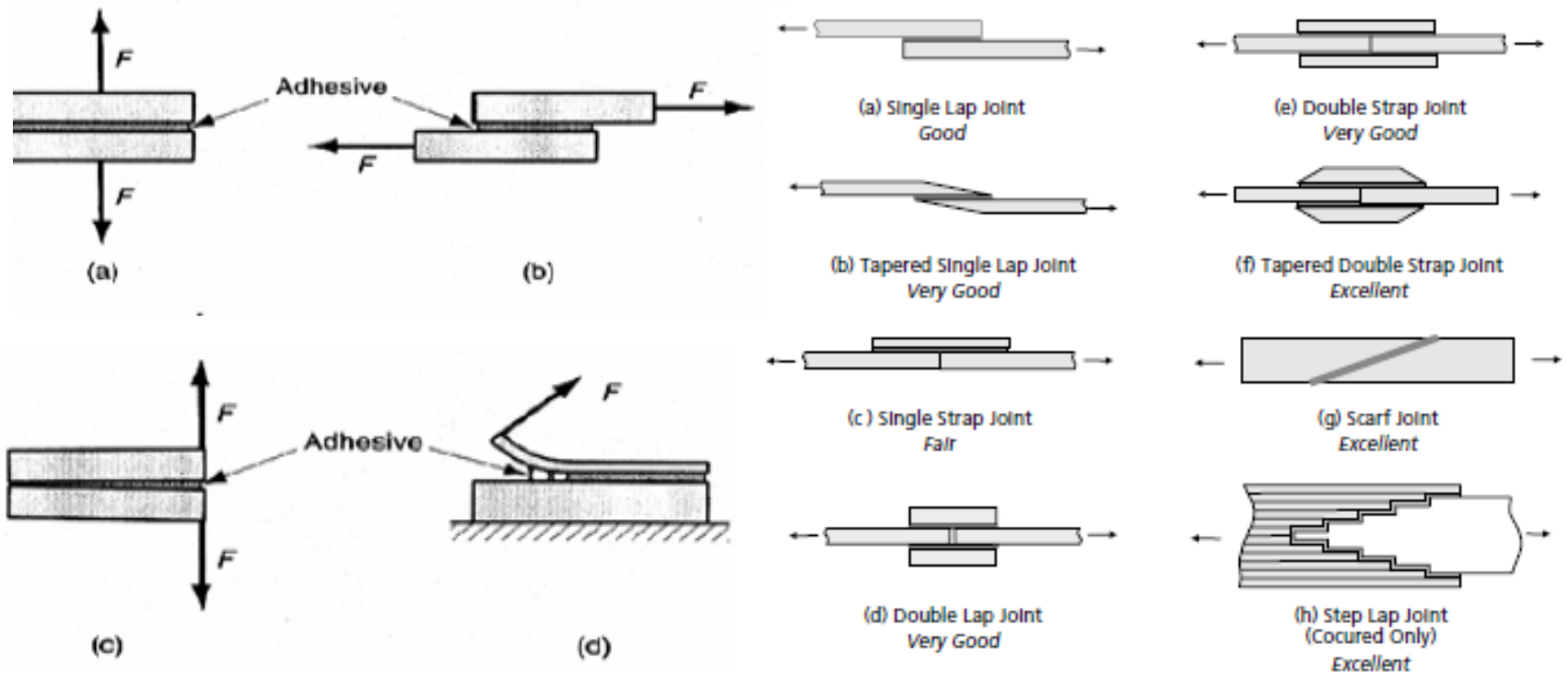


INTRODUCCIÓN

La resistencia y durabilidad de la unión adhesiva estará determinada por varios parámetros de la configuración de la unión y el proceso elegido



El adhesivo debe trabajar a tensiones de cortadura $\rightarrow$ Otros modos de carga no son deseados, aunque las tensiones de tracción se soportarán mejor dependiendo del área superficial de unión





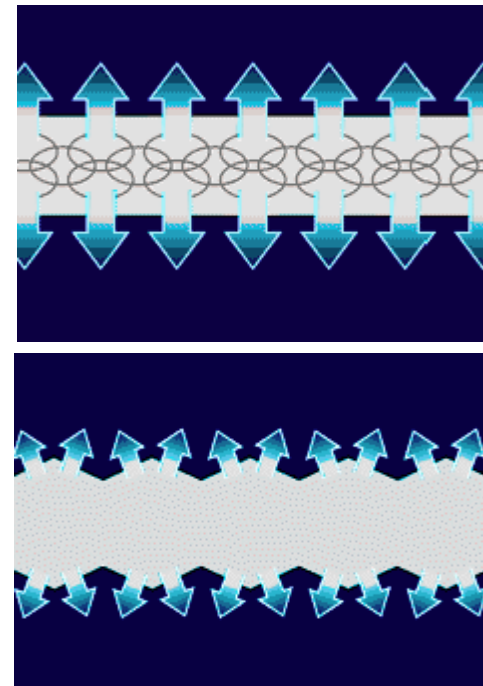
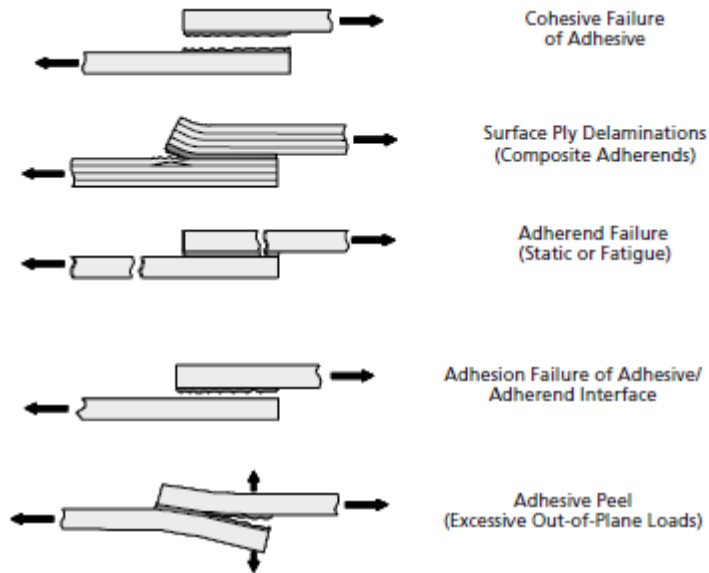
CONSIDERACIONES MECÁNICAS

**Durabilidad
adhesivo**

**Diseño de la unión→
Fuerzas de pelado?**

CET

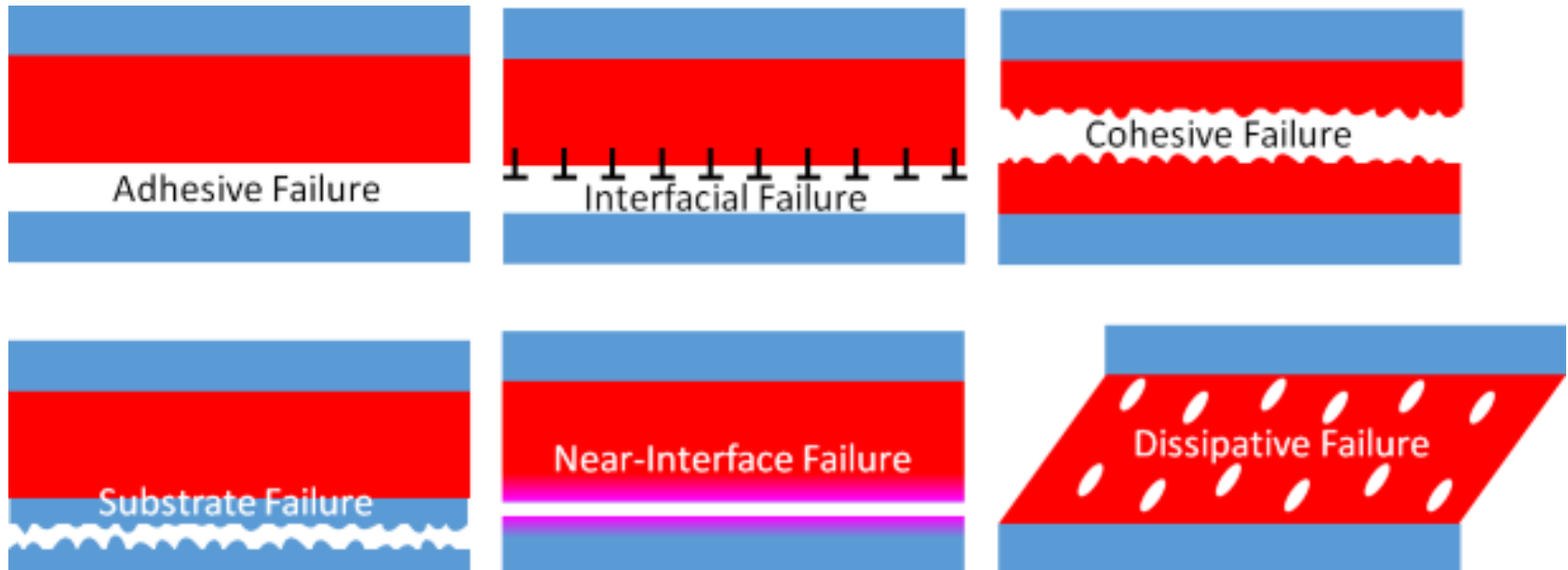
Inspección apropiada





CONSIDERACIONES MECÁNICAS

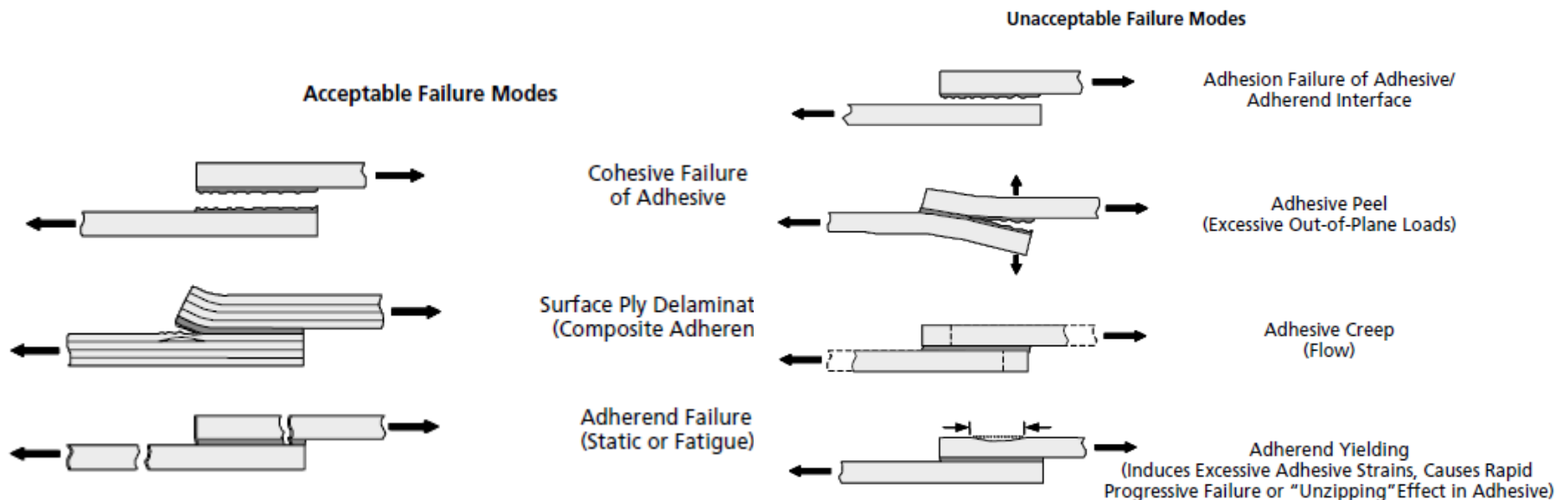
El fallo de la unión puede tener lugar en la intercara (fallo adhesivo), en el propio adhesivo (fallo cohesivo) o en el adherente → Diseño apropiado de la unión suele evitar el fallo en la intercara





CONSIDERACIONES MECÁNICAS

Se buscará siempre fallos no adhesivos, ya que éstos últimos indican una mala interacción entre adhesivo y sustrato. Tampoco la deformación plástica del sustrato es deseada como modo de fallo.



DISEÑO DE LA UNIÓN

Unión de laminados

La unión de laminados de materiales compuestos es más compleja → Consideraciones adicionales

La rigidez y resistencia a cortadura de los laminados es baja → Propiedad dependiente de la matriz → Se debe tener en cuenta durante el diseño de la unión

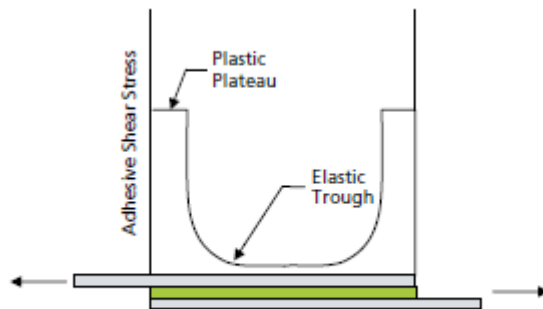
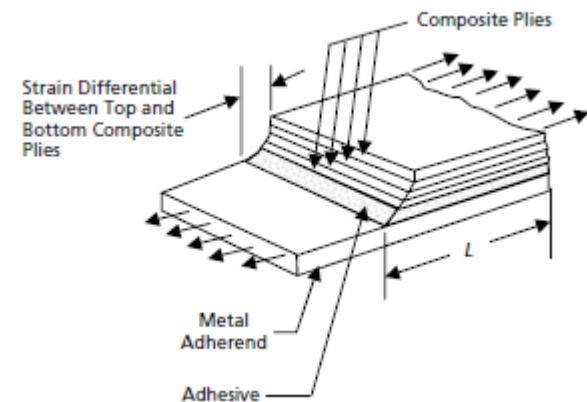


Fig. 8.3. Typical Bondline Shear Stress Distribution⁷



DISEÑO DE LA UNIÓN

Preparación superficial

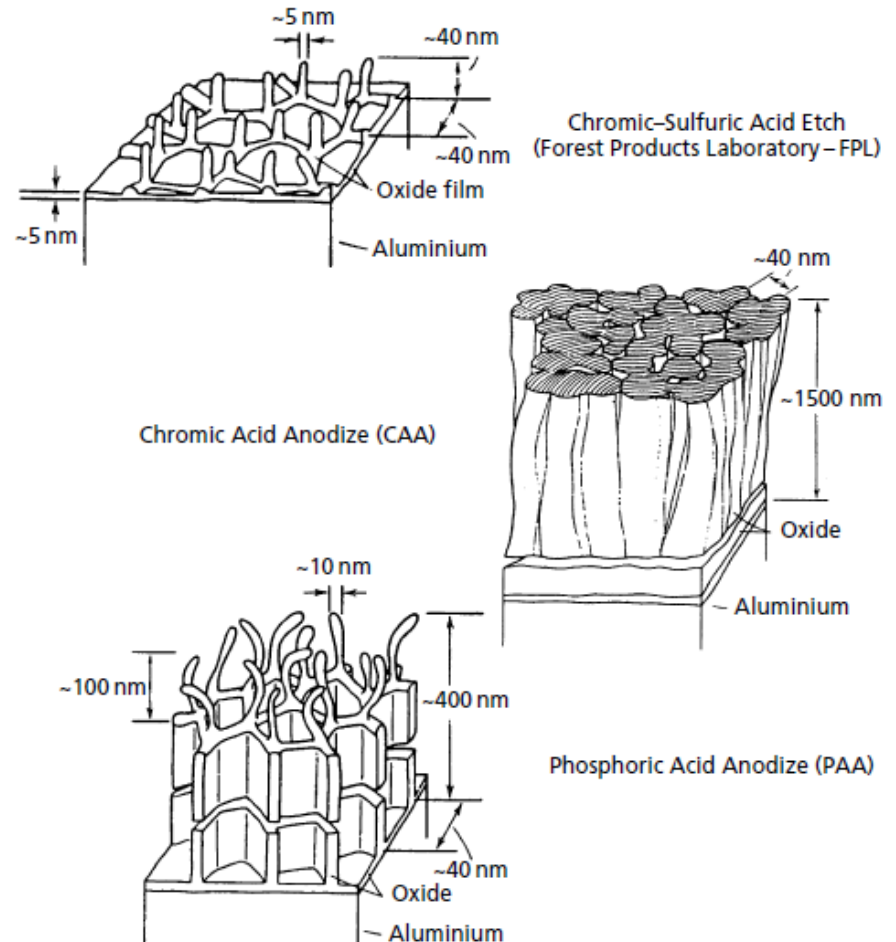
Componentes de aleaciones aluminio:

Desengrasado con vapor seguido de una limpieza alcalina

Grabado y anodizado del aluminio → Capa de óxido poroso → Anclaje mecánico en la unión adhesiva

Componentes de aleaciones titanio:

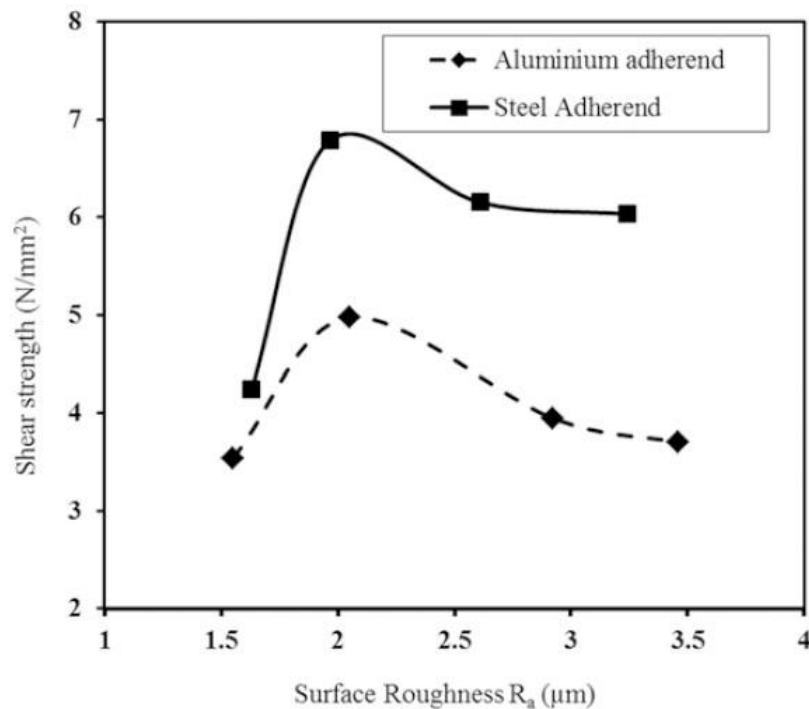
Grabado ácido, limpieza alcalina y acabados superficiales → Incremento de la topografía superficial para mejorar la unión adhesiva



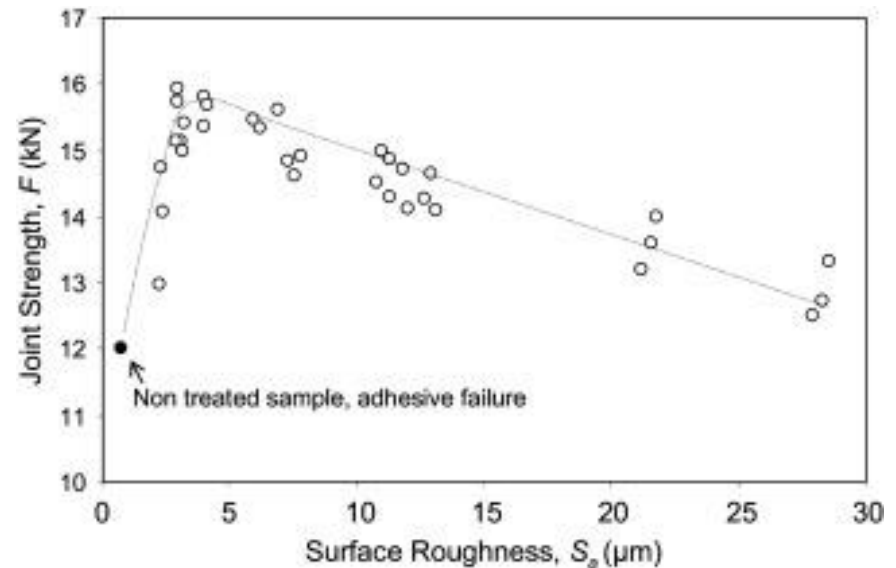
DISEÑO DE LA UNIÓN

Preparación superficial

La resistencia a cortadura de la unión está afectada también por el tipo de sustrato. Sustratos más rígidos y resistentes llevan a mayores valores de resistencia a cortadura.



La rugosidad superficial del sustrato influye en la resistencia de la unión. Valores controlados de rugosidad pueden crear puntos de anclaje.





TIPOS DE ADHESIVOS

Adhesivos Epoxi

Hay una amplia variedad de formulaciones de adhesivos epoxi → Posibilidad de elegir la más apropiada para cada aplicación → Temperatura de curado, propiedades mecánicas, temperatura en servicio, viscosidad, tiempo de gel, etc.

Son materiales usados muy comúnmente en uniones adhesivas en la industria aeronáutica → Amplio rango de temperaturas de servicio, buena resistencia de la unión y durabilidad

**Resistencia
química**

**Buena
adhesión**

**Absorción
de humedad**

**Volátiles
durante el
curado**

**Proceso de
curado**

Coste

Contracción

**Elevada
resistencia**

Fragilidad



TIPOS DE ADHESIVOS

Otros adhesivos

Cianocrilatos

- Son adhesivos monocomponente con una elevada velocidad de curado a temperatura ambiente
- Existen numerosos ejemplos con diferentes viscosidad y aditivos para mejorar su fragilidad y para aplicaciones alternativas
- Entre sus desventajas: fragilidad, baja resistencia a pelado, elevado coste

Anaeróbicos

- Son poliésteres acrílicos
- Se mantienen líquidos cuando están expuestos al aire
- Pueden ser empleados en la unión de numerosas superficies incluso con una menor preparación superficial
- Su curado es más lento si no se le añaden aditivos o temperatura y presentan ciertos inconvenientes en su manejo (toxicidad, inflamabilidad, desprenden olores)



TIPOS DE ADHESIVOS

Otros adhesivos

Siliconas

- Curan a partir de la humedad ambiente pudiendo unir muy diferentes tipos de materiales (vidrios, metales, plásticos)
- Tienen una buena capacidad de sellado y cierta flexibilidad
- Su resistencia mecánica no es muy elevada
- Su velocidad de curado es relativamente lenta

Adhesivos termofusibles

- Son resinas termoplásticas que son sólidas a temperatura ambiente pero que funden a partir de 100 – 150 °C
- Suelen tener una buena capacidad de sellado, sin embargo su temperatura de uso es muy limitada

Acrílicos

Uretanos

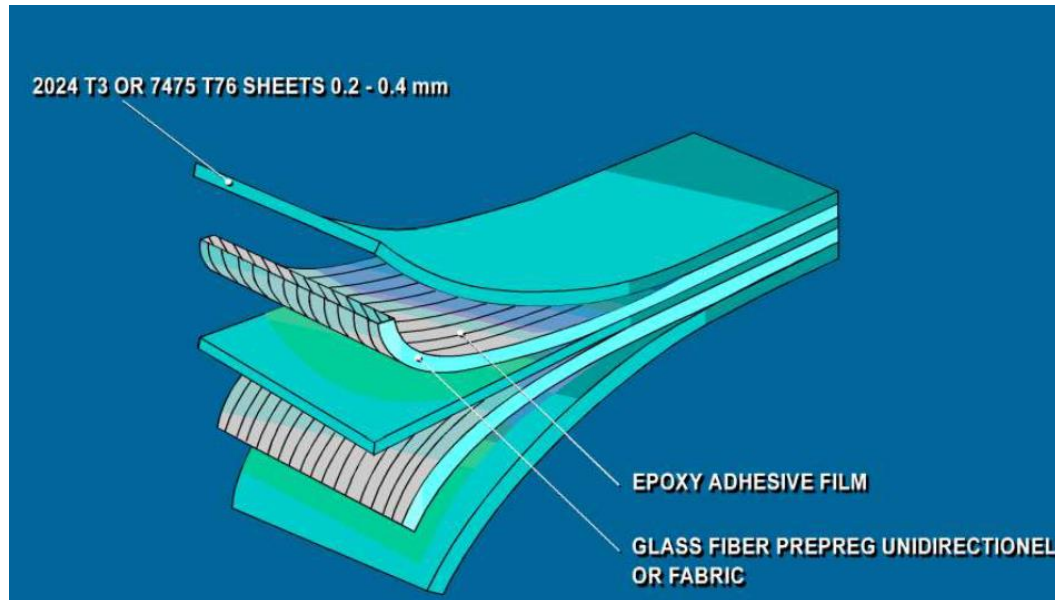
TIPOS DE ADHESIVOS

Adhesivos epoxi

Se pueden encontrar habitualmente de dos formas: *films* y adhesivo en pasta bicomponente; de curado a temperatura ambiente o a elevada temperatura

Los adhesivos en forma de *film* se emplean mucho en la industria aeronáutica → Almacenamiento a baja temperatura (estables a temperatura ambiente durante un periodo limitado de tiempo)

Contienen agentes para el curado, modificadores de la tenacidad, etc.

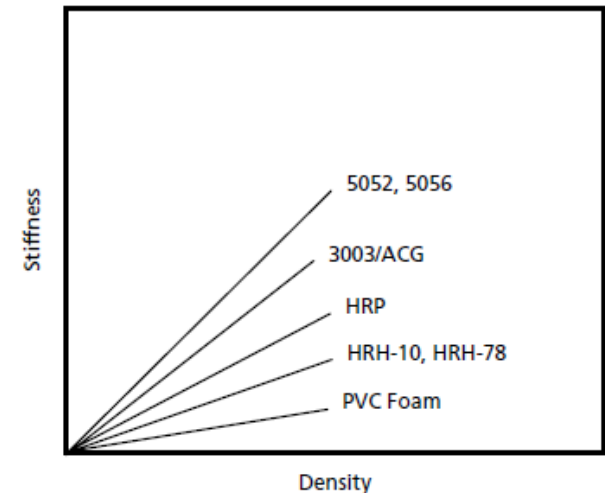
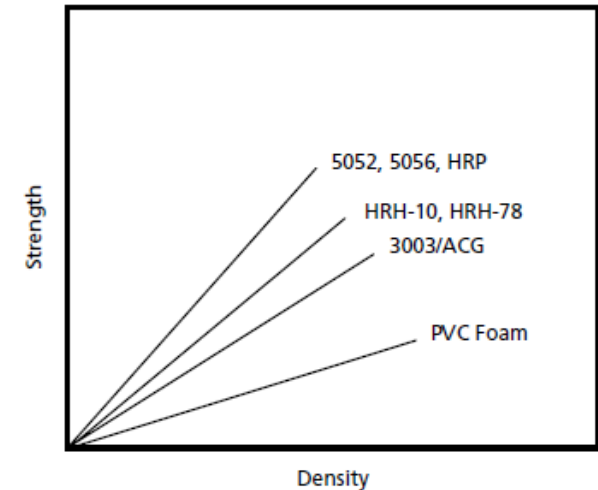
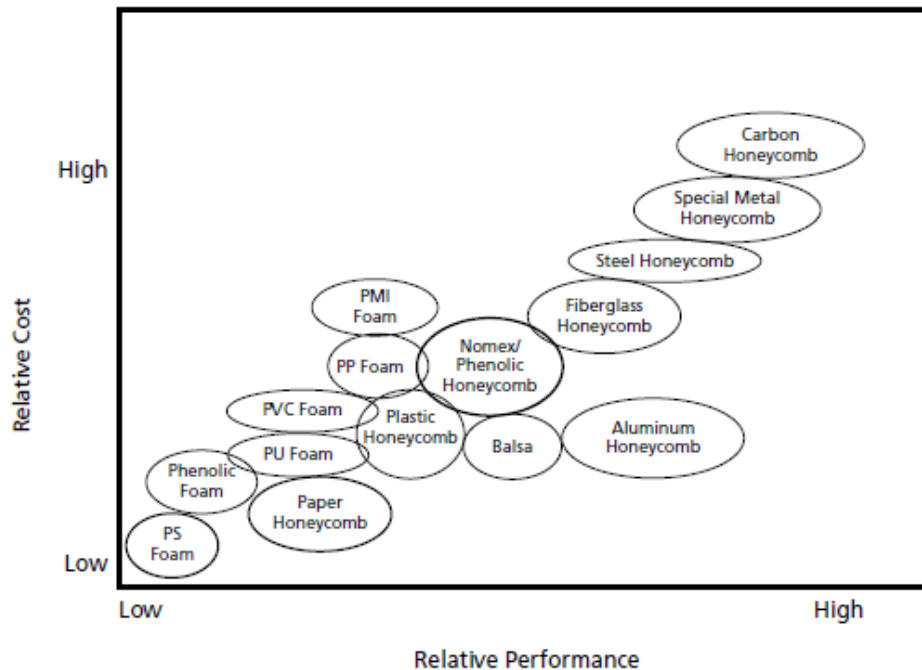




TIPOS DE ADHESIVOS

Adhesivos en estructuras tipo sandwich

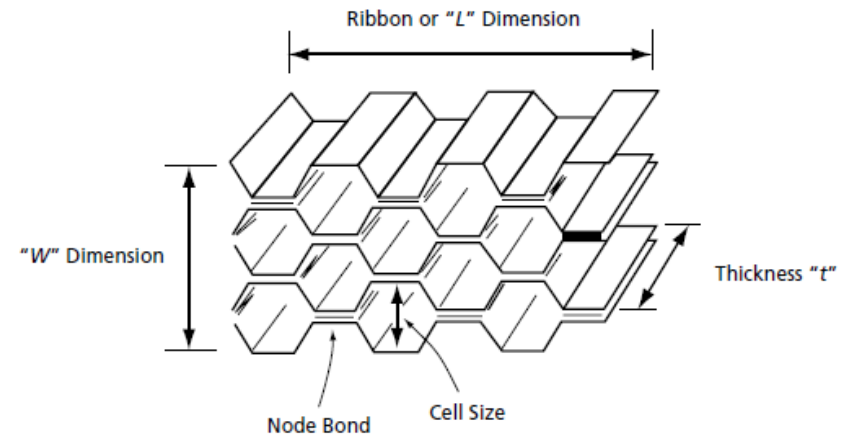
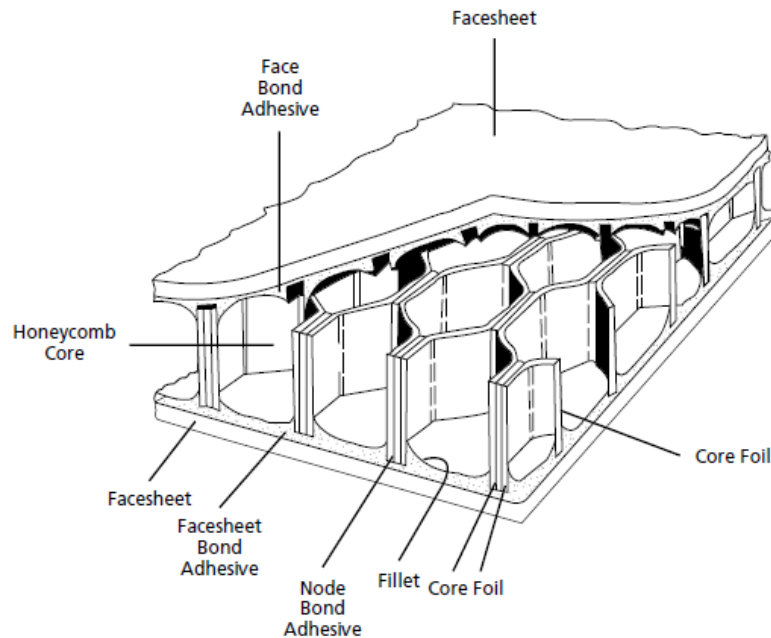
En la industria aeroespacial se han usado este tipo de estructuras, particularmente las basadas en núcleos de tipo “panal de abeja”



TIPOS DE ADHESIVOS

Adhesivos en estructuras tipo sandwich

Los adhesivos se necesitan en las estructuras tipo sandwich para unir, tanto las láminas interiores del propio núcleo (coil foils), como el núcleo a las pieles exteriores. Generalmente de tipo film.





TIPOS DE UNIÓN EN COMPUESTOS

Preparación Superficial

Paso previo a la aplicación del adhesivo → Paso básico y de gran importancia → No sólo tiene efecto sobre la resistencia de la unión sino también sobre su durabilidad

Laminados de material compuesto:

Desbaste superficial



Evitar superficies pulidas

Complejidad adicional del lijado/desbaste →
Posibilidad de daño en las fibras en el proceso

Limpieza de la superficie para evitar suciedad superficial

Absorción de humedad: Los laminados de compuesto deben secarse antes de la aplicación del adhesivo

Tratamiento con Peel ply: Una capa de tejido pelable se coloca como última capa del laminado en la fabricación → Su separación o pelado previamente a la aplicación del adhesivo, incrementa la rugosidad de la superficie completamente limpia → Mejora superficial

Operaciones de lijado: Pueden dañar la fibra si se alcanza → Importancia del control de los parámetros del proceso

TIPOS DE UNIÓN EN COMPUESTOS

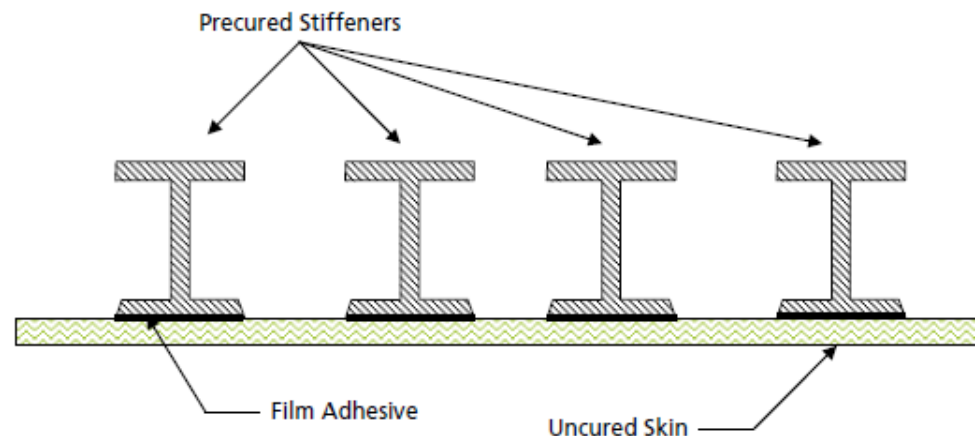
Tipos alternativos de unión adhesiva en laminados de material compuesto

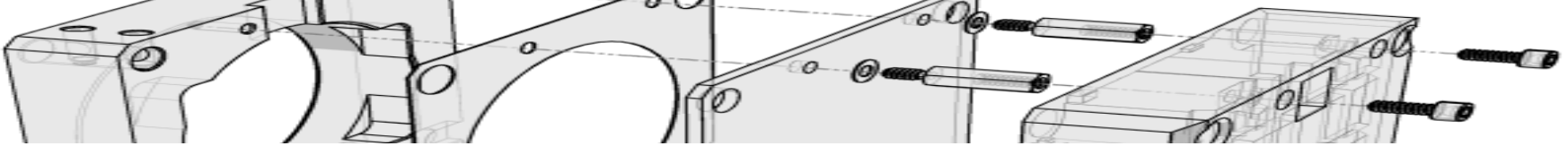
Unión secundaria: Mismo método que el empleado para cualquier otro tipo de material → Adhesivo aplicado para unir ambas piezas previamente fabricadas

CO-PEGADO: El curado del adhesivo se produce a la vez que el de alguna de las piezas a unir, teniendo en cuenta que al menos una, debe estar previamente curada.

- Reduce los problemas que puedan aparecer en los ciclos de curado de diferentes piezas (al menos una está curada)
- Requiere preparación superficial de la pieza previamente curada
- En ocasiones, se emplea adhesivo adicional

CO-CURING: El proceso de curado del laminado de material compuesto de todas las piezas y la unión ocurren simultáneamente.



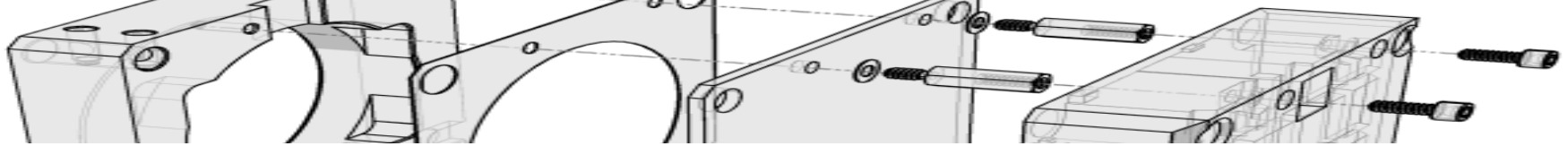


BLOQUE II. OPERACIONES SECUNDARIAS

Tema 5. Tecnologías de unión

Tema 5 - 2. Uniones mecánicas





UNIONES MECÁNICAS

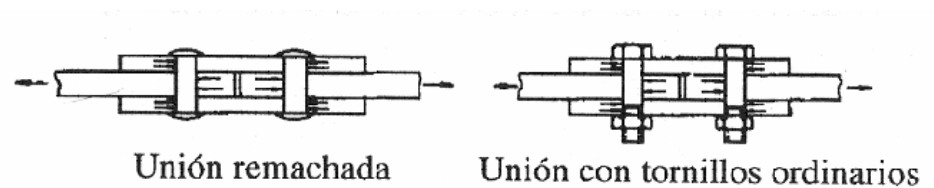
Clasificación

Uniones roscadas

Remaches

Ajustes por interferencia

Sistemas integrales

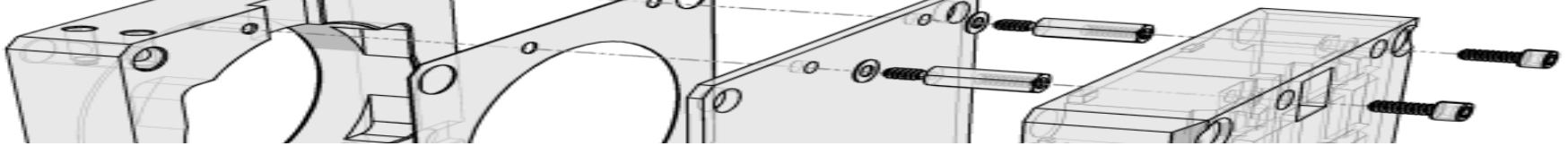


Ventajas:

- Bajo coste
- Posibilidad del desmontaje de la unión ensamblada
- Rendimiento en servicio bueno

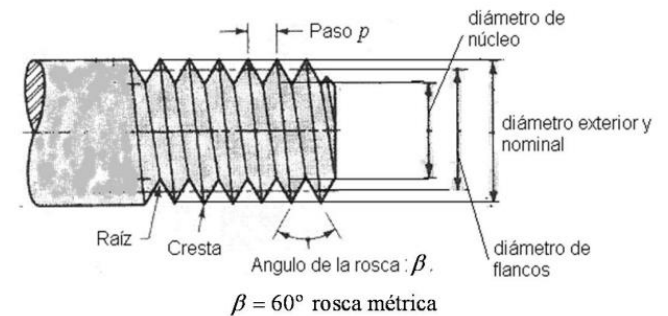
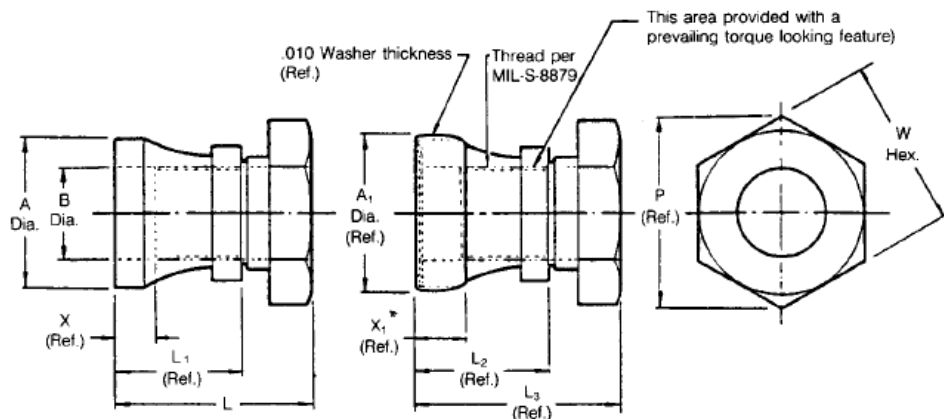
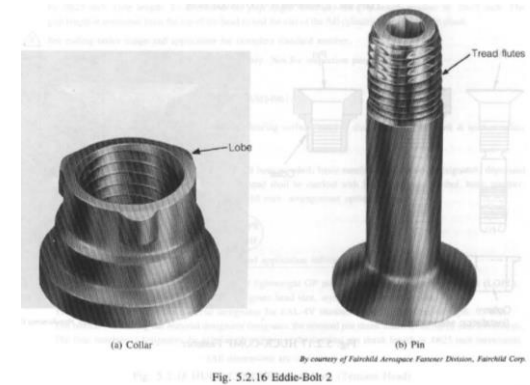
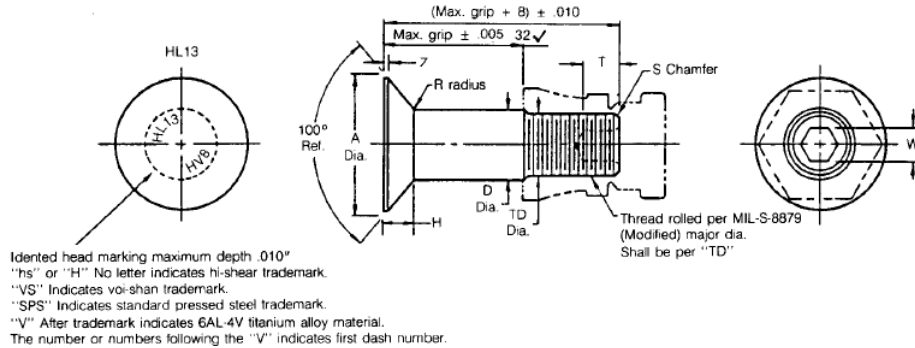
Inconvenientes:

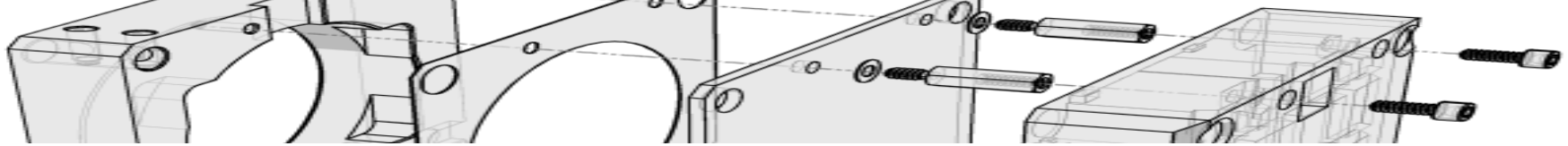
- No son sellantes: permiten el paso de gases y líquidos
- Suelen ser de diferente material a los que se pretende unir (posibilidad de corrosión galvánica)
- Concentradores de tensión (disminuye la resistencia a fatiga)



UNIONES ROSCADAS

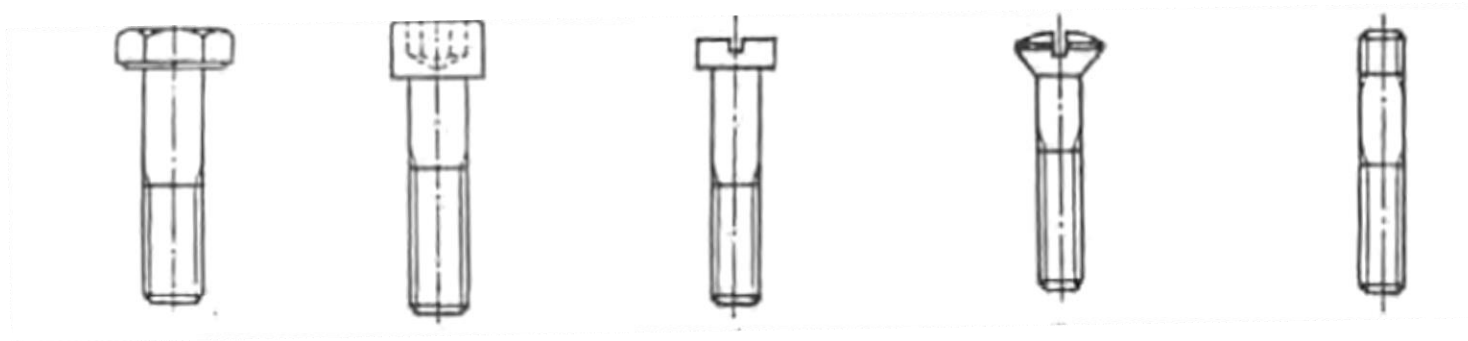
Definición de parámetros





UNIONES ROSCADAS

Clasificación



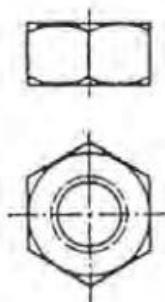
Tornillo de cabeza hexagonal

Tornillo de cabeza cilíndrica con hexágono interior (Allen)

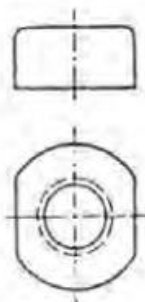
Tornillo de cabeza cilíndrica con ranura

Tornillo achaflanado con ranura

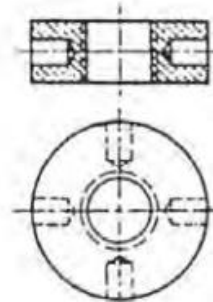
Espárrago



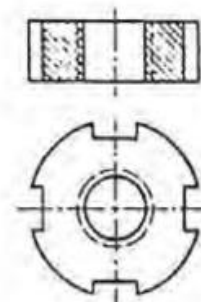
Tuerca hexagonal



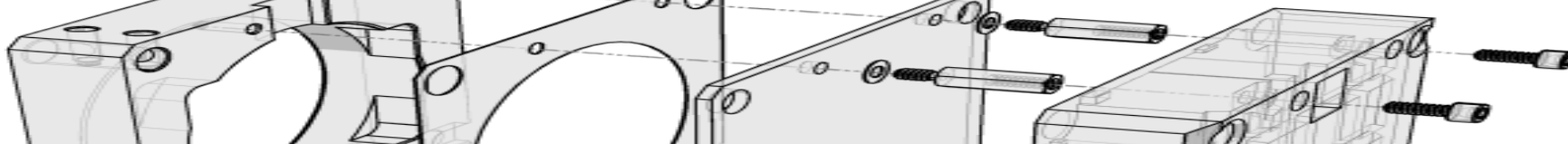
Tuerca redonda aplanada



Tuerca de orificios cruzados



Tuerca ranurada



UNIONES MECÁNICAS

Designación según norma ISO

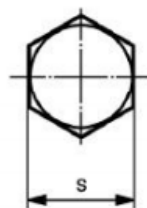
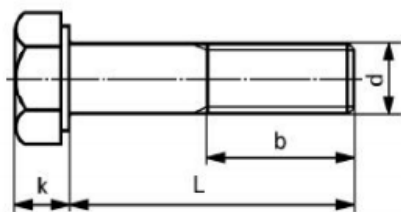
Tipo de tornillo Norma – MD x l – clase de resistencia

M: Rosca métrica (mm)

D: Diámetro nominal (mm)

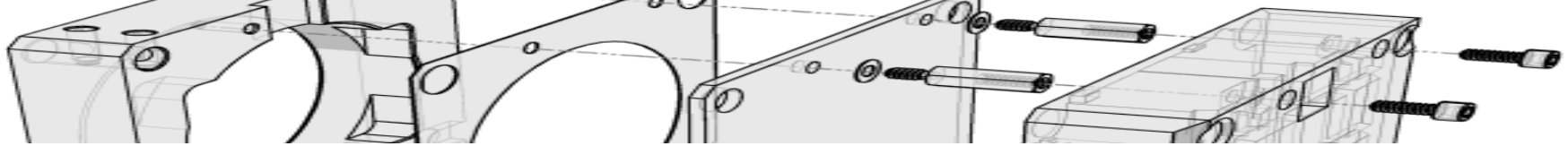
l: Longitud (mm)

Clase de resistencia: conjunto de dos números, siendo el primero el valor nominal del límite de rotura en N/mm^2 multiplicado por 100 y el segundo el valor del límite elástico en N/mm^2 siendo éste el producto del límite de rotura por el segundo número dividido entre 10.



Dimensiones (mm) y clase de resistencia					
d	k	L	b	s	clase resist.
12	7,5	100	30	18	8,8

Tornillo de cabeza hexagonal ISO 4014 – M12×100 – 8,8



UNIONES ROSCADAS

Tensiones en las uniones

Tensión:
$$\sigma = \frac{F}{A_s}$$

Área resistente a la tracción:

$$A_s = \frac{\pi}{4} (D - 0.9382p)^2$$

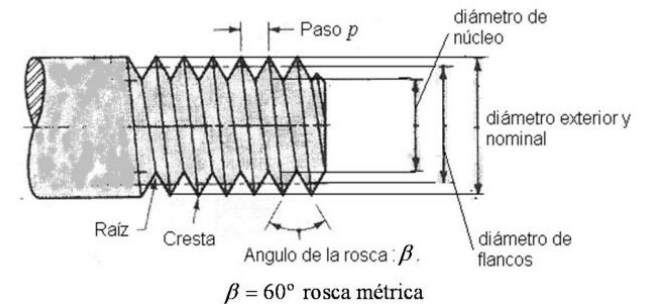
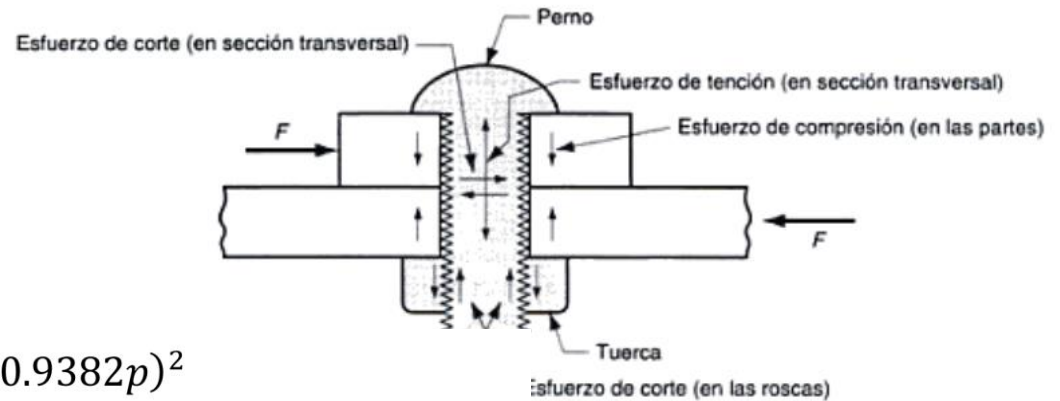
Torque requerido para obtener la precarga definida:

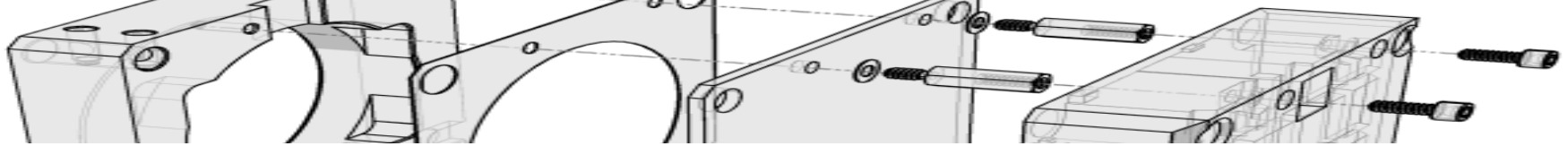
$$T = C_t D F$$

D: diámetro nominal (diámetro mayor)

p: paso

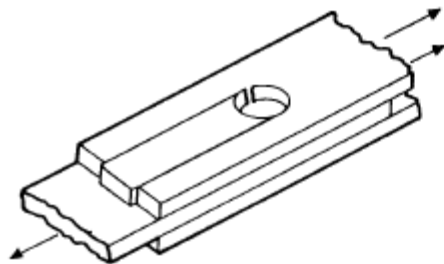
C_t : coeficiente de torque



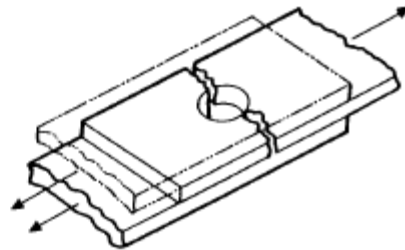


UNIONES ROSCADAS

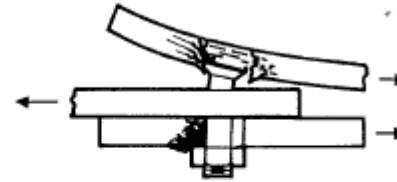
Fallo de la unión



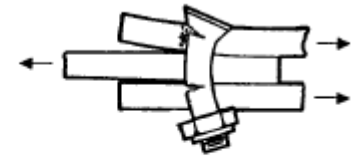
(a) Shearout failure



(b) Tension failure

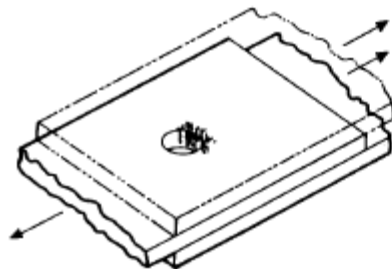


(c) Bolt pulling through laminate

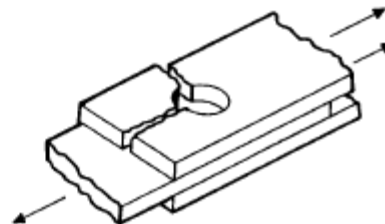


(f) Bolt failure

Fig. 5.2.1 Failure Modes of Advanced Composite Mechanical Joints.



(c) Bearing failure



(d) Cleavage — tension failure

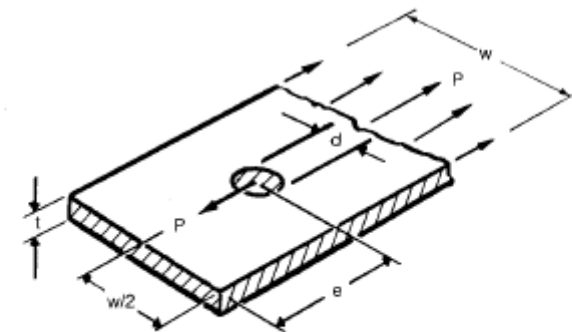
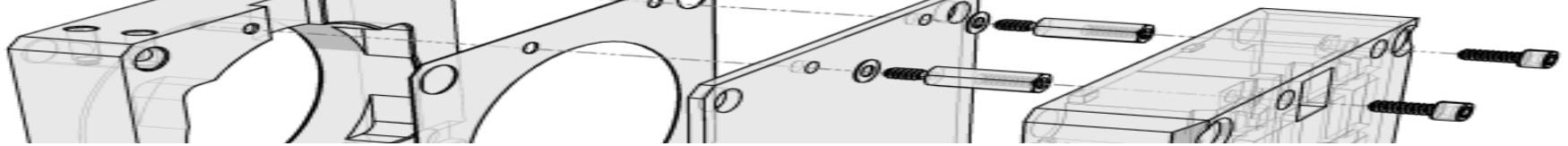
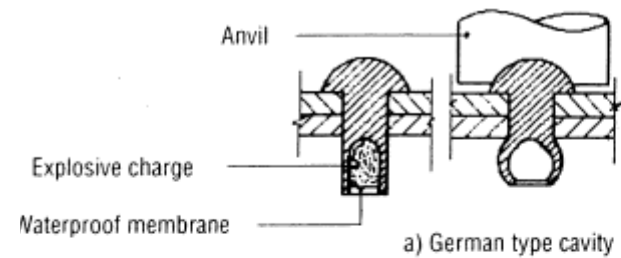
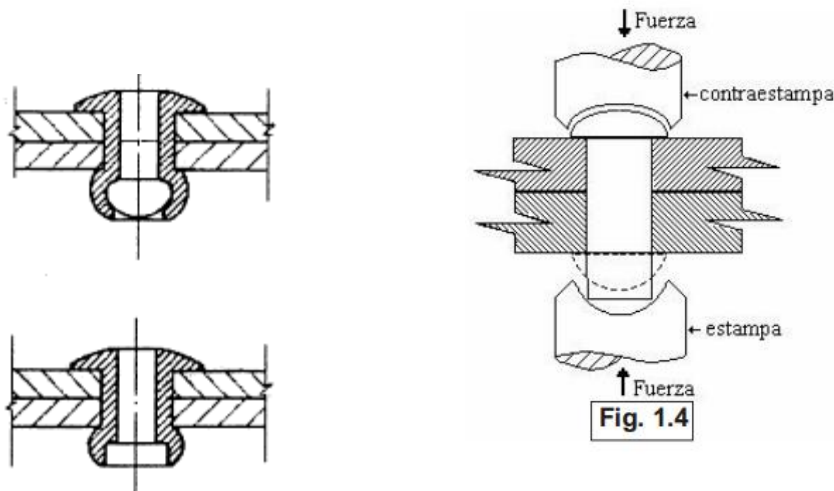


Fig. 5.2.2 Typical Mechanical Joint Element.

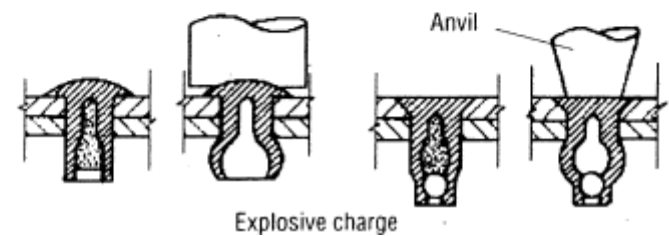
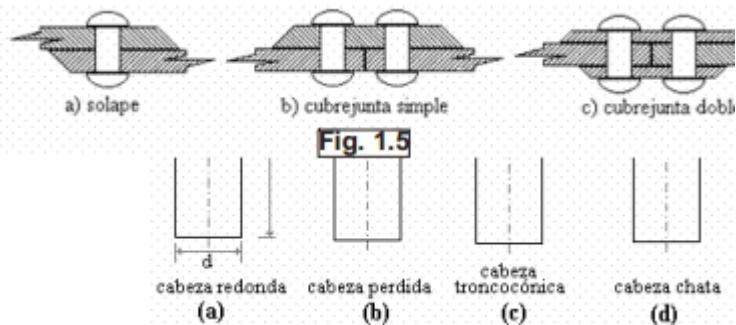


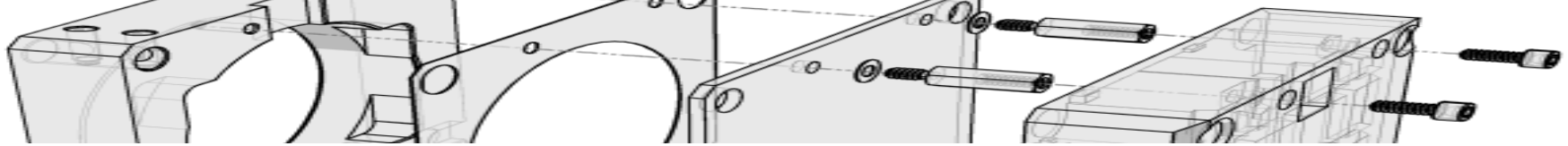
REMACHES

Clasificación



b) American type cavity





DEFINICIÓN DE AJUSTES

Juego

Diferencia entre las dimensiones del agujero y del eje, cuando esta es positiva.

Juego máximo: $J_{max} = M_{max} - m_{min}$

Juego mínimo: $J_{min} = M_{min} - m_{max}$

Tolerancia de juego: $TJ = J_{max} - J_{min} = \text{tolerancia agujero} + \text{tolerancia eje}$

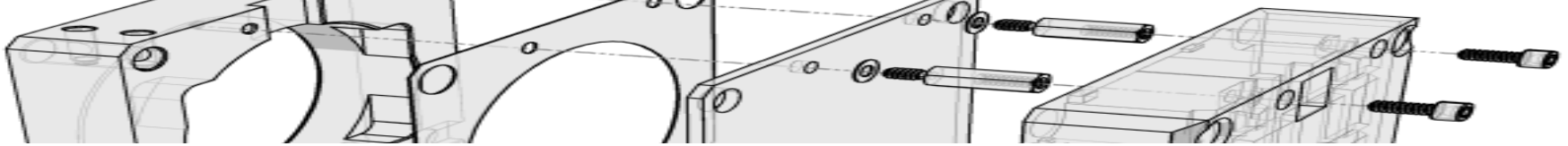
Aprieto

Diferencia entre las dimensiones del agujero y del eje, cuando esta es negativa.

Aprieto máximo: $A_{max} = M_{min} - m_{max}$

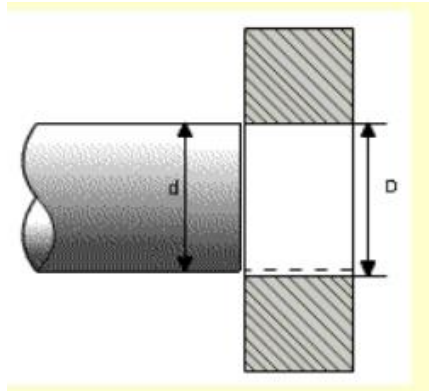
Aprieto mínimo: $A_{min} = M_{max} - m_{min}$

Tolerancia de aprieto: $TA = A_{max} - A_{min} = -(\text{tolerancia agujero} + \text{tolerancia eje})$

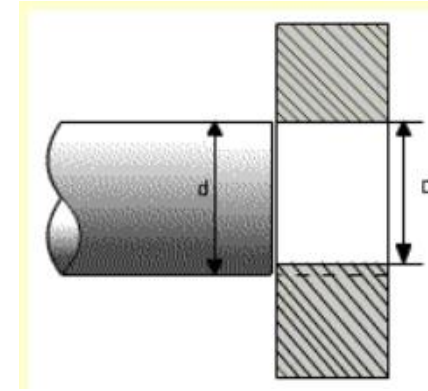


DEFINICIÓN DE AJUSTES

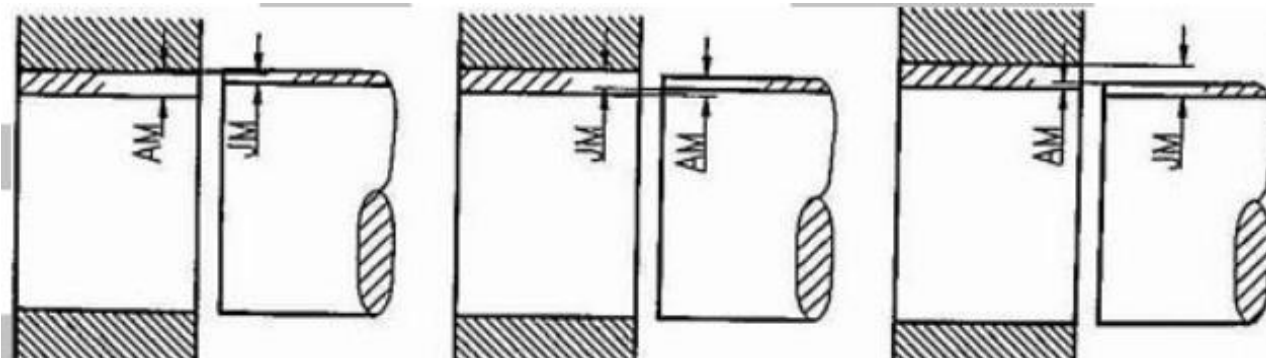
Ajuste móvil



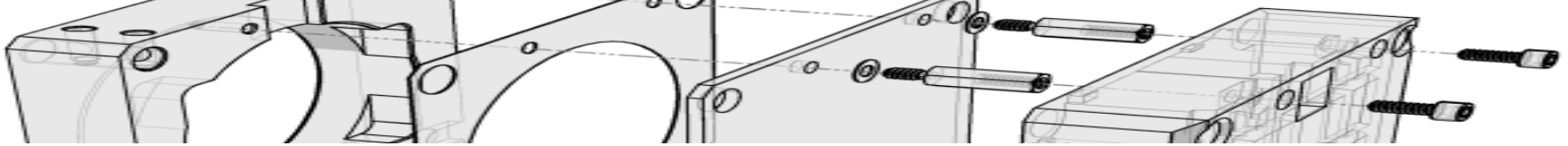
Ajuste fijo



Ajuste indeterminado



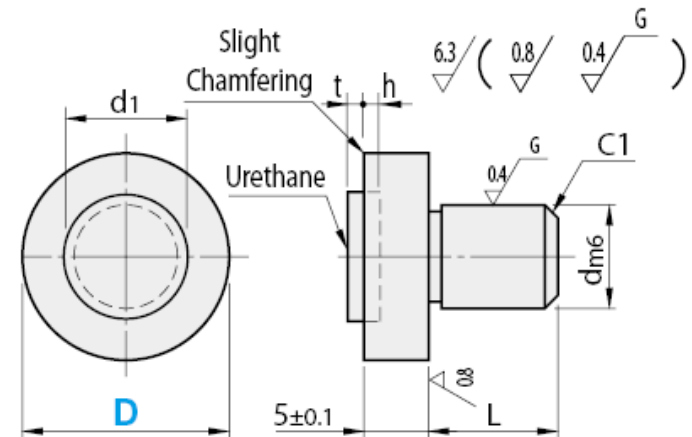
$$TI = J_{max} - A_{max}$$



AJUSTE POR INTERFERENCIA

Ajuste a presión

Collarín como pieza exterior:



Presión radial entre el eje y el collarín:

$$P_f = \frac{Ei(D_c^2 - D_p^2)}{D_p D_c^2}$$

Tensión máxima efectiva:

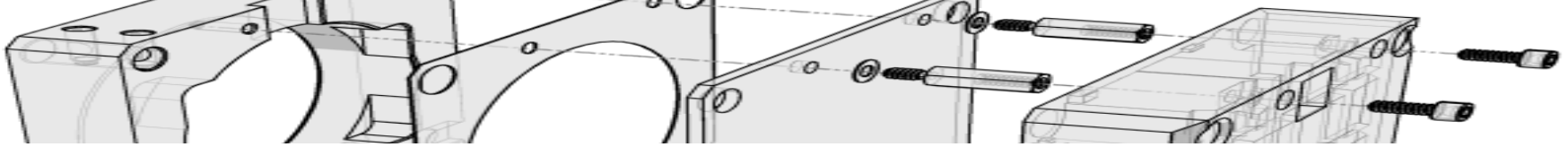
$$\sigma_{emax} = \frac{2p_f D_c^2}{D_c^2 - D_p^2}$$

E: Módulo de elasticidad

i: Interferencia (diferencia entre el diámetro del pin y el exterior del anillo)

Dc: Diámetro del collarín

Dp: Diámetro del pin



AJUSTE POR INTERFERENCIA

Ajuste a presión

Geometría de la pieza exterior diferente a un collarín (D_c se considera infinito):

Presión de interferencia:

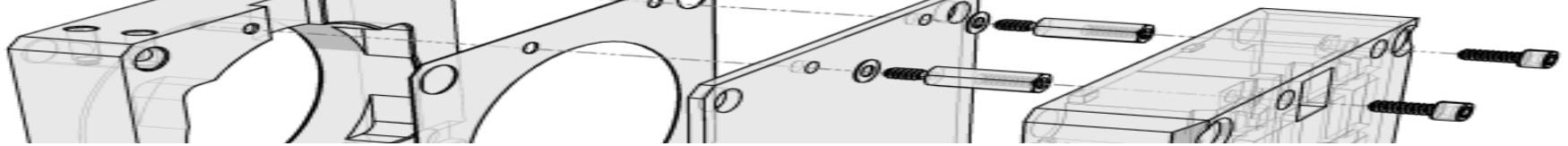
$$p_f = \frac{Ei}{D_p}$$

Tensión máxima efectiva:

$$\sigma_{emax} = 2p_f$$

$$\sigma_{emax} \leq \frac{Y}{SF}$$

E: Módulo de elasticidad
i: Interferencia (diferencia entre el diámetro del pin y el exterior del anillo)
 D_c : Diámetro del collarín
 D_p : Diámetro del pin
SF: Factor de seguridad

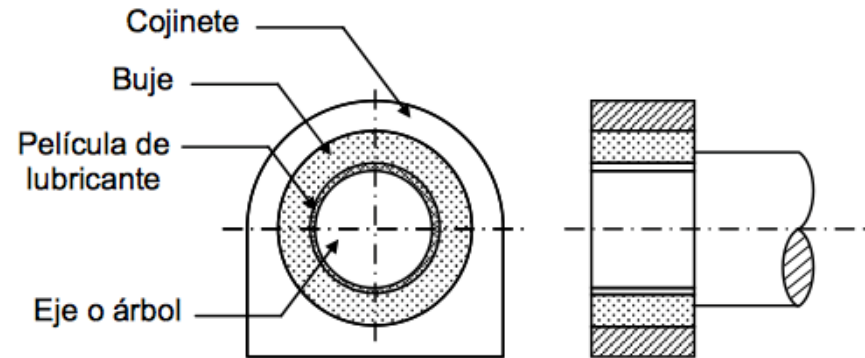


AJUSTE POR INTERFERENCIA

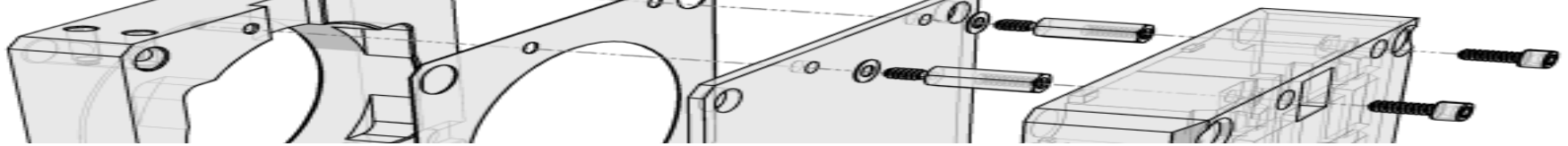
Ajuste por contracción y expansión

Temperatura necesaria para el ajuste:

$$D_2 - D_1 = \alpha D_1 (T_2 - T_1)$$

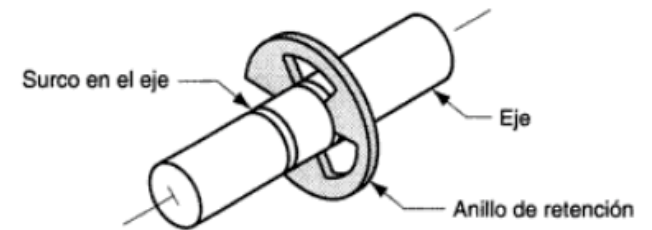
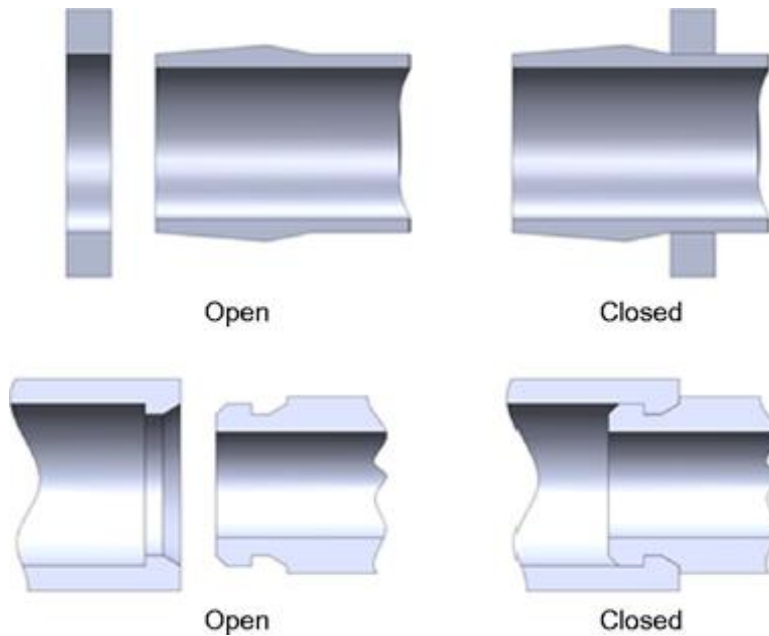


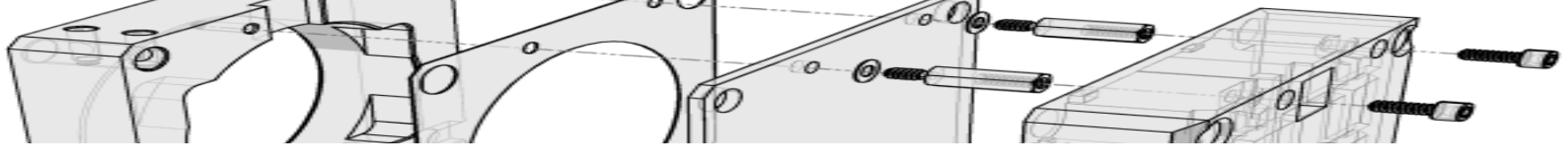
(a) Ajuste entre un cojinete de contacto deslizante y el extremo de un eje o árbol. Observe el espacio para el lubricante



AJUSTE POR INTERFERENCIA

Ajuste por anillos y ajustes de agarre automático

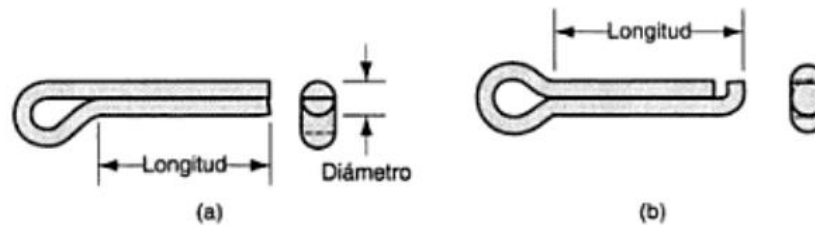




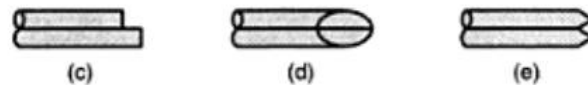
AJUSTE POR INTERFERENCIA

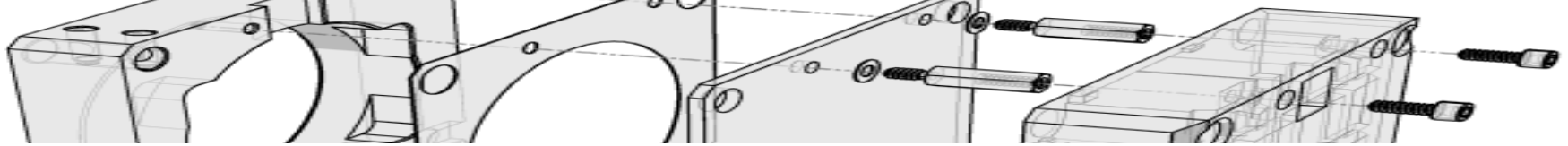
Puntillado, engrapado y cosido

Engrapado



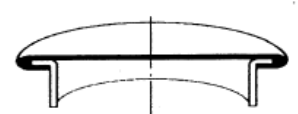
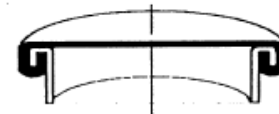
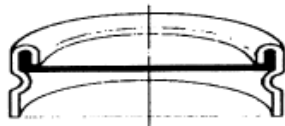
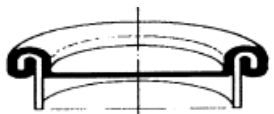
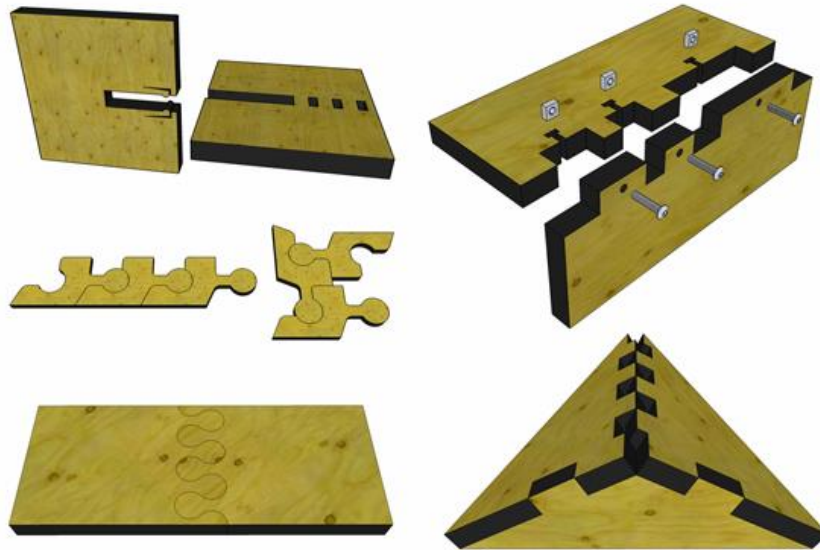
Cosido

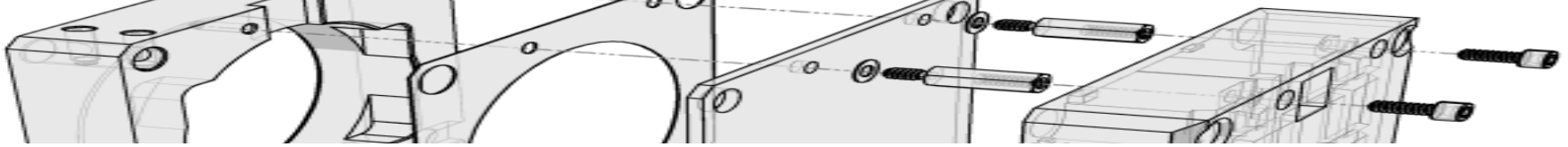




SISTEMAS INTEGRALES

Ejemplos





Principios

- Emplear el menor número de piezas posible para reducir la cantidad en ensambles necesarios.
- Reducir el número de sujetadores roscados requeridos.
- Estandarizar los sujetadores.
- Reducir dificultades de orientación de las piezas.