

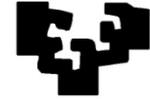
MÓDULO II: CONFORMADO PLÁSTICO DE METALES

TEMA 6: Conformado de chapa

TECNOLOGÍA MECÁNICA

DPTO. DE INGENIERÍA MECÁNICA

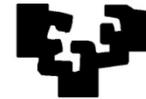
Universidad del País Vasco – Euskal Herriko Unibertsitatea



- 1. Características de los productos de chapa**
- 2. Comportamiento de la chapa ante la deformación**
- 3. Corte**
- 4. Doblado**
- 5. Embutición**
- 6. Cuestionario tutorizado**
- 7. Oportunidades laborales: empresas y productos**



1. Características de los productos de chapa



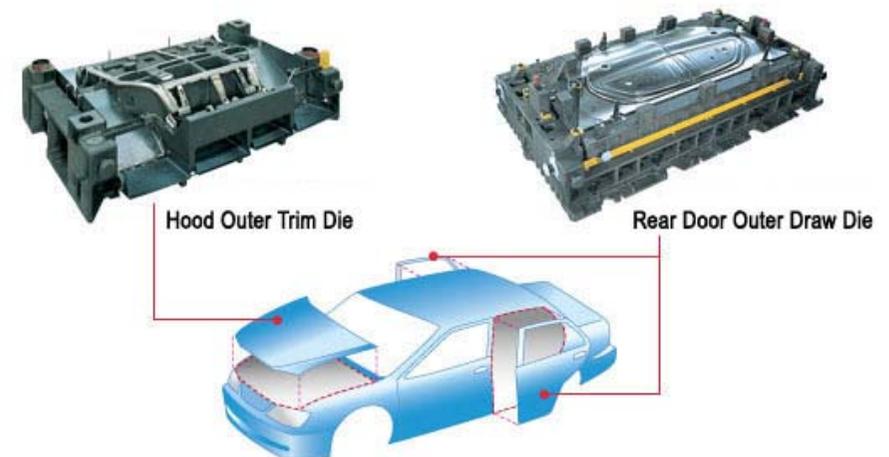
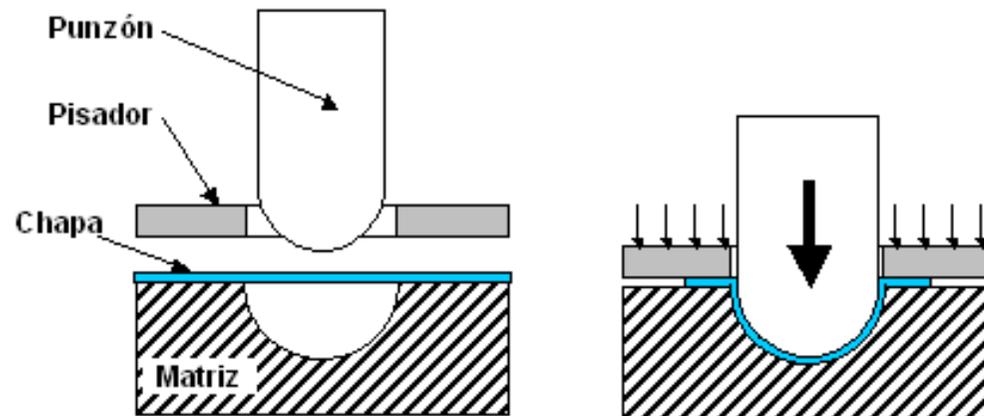
CHAPA: producto plano de anchura igual o superior a 600mm. Se obtiene por laminaciones y tratamientos térmicos sucesivos del material.

- Chapa fina: espesor $< 3\text{mm}$
- Chapa gruesa: espesor $> 3\text{mm}$

Otros productos relacionados:

- Banda: producto plano laminado en caliente y suministrado en forma de bobina.
- Fleje: banda cuya anchura de laminación es $< 600\text{mm}$

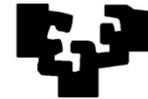
Los productos de chapa se obtienen por deformación plástica del metal **EN PRENSAS**, utilizando herramientas **COMPLEJAS Y CARAS** denominadas **TROQUELES**.



Ejemplo de embutición de un producto de chapa. Se representan esquemáticamente los elementos que configuran el troquel en este caso.

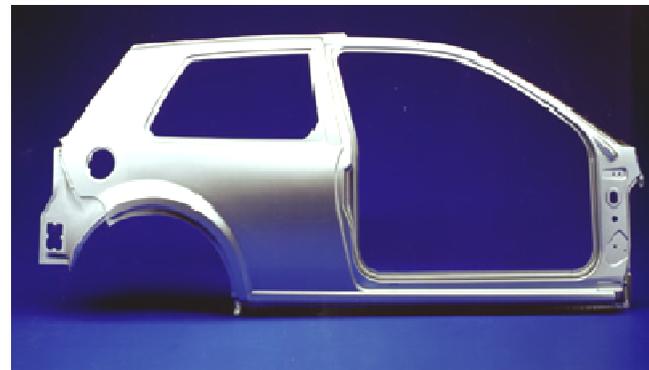


1. Características de los productos de chapa



CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS DE CHAPA:

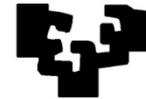
- **Formas complejas con excelentes acabados superficiales.**
- **Piezas de elevada relación rigidez/peso**
- **Alta PRODUCTIVIDAD (ratios de hasta 1500 piezas/hora).**
- **Solo se justifican SERIES LARGAS (coste de utillajes y medios de producción).**



Las industrias del AUTOMÓVIL, ENVASES y ELECTRODOMÉSTICOS son grandes usuarios de los procesos de conformado de chapa

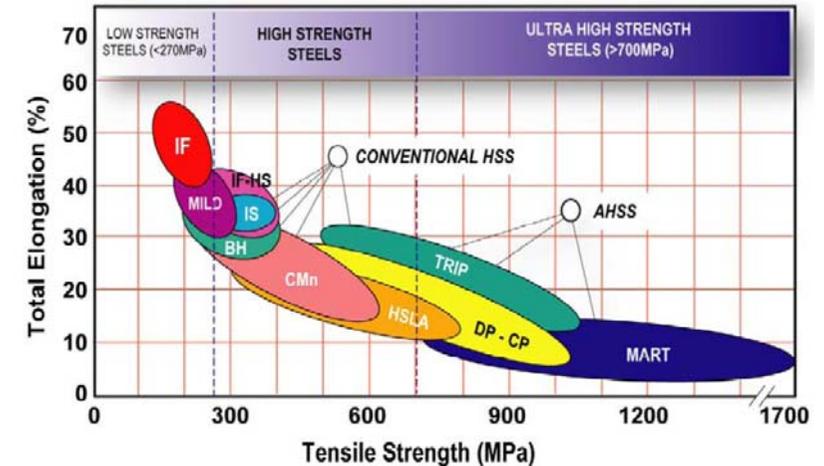


1. Características de los productos de chapa

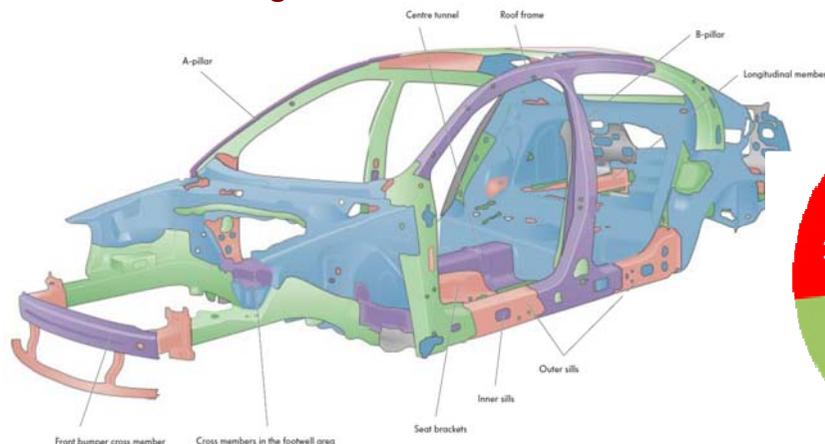


MATERIALES MÁS FRECUENTES:

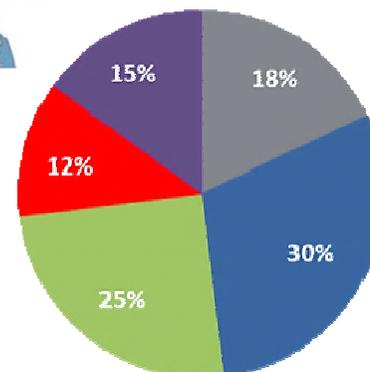
- **Acero al Carbono:** el más frecuente por su ductilidad.
Espesor $\approx 1,5\text{mm}$: carrocerías de automóvil, electrodomésticos,...
Espesor hasta 12,5mm: llantas, recipientes a presión, blindajes,...
- **Aluminio:** aeronáutica y automóvil de gama alta.
- **Aceros inoxidables:** menaje y recipientes.
- **Aceros de alto límite elástico:** respuesta de los aceristas al creciente uso del aluminio en carrocerías.
- **Otros materiales (cobre, magnesio, titanio,...)**



Fuente: Volkswagen: Passat 2010



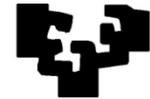
% en peso



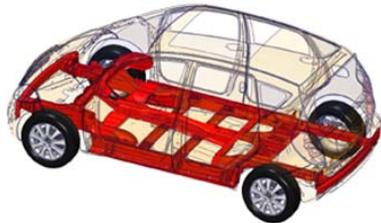
- Aceros de bajo contenido en C (UTS < 140 Mpa)
- Aceros de elevada resistencia (UTS 180-240 MPa)
- Aceros de alta resistencia (UTS 260-500 Mpa)
- Aceros de muy alta resistencia (UTS 600-750 Mpa)
- Aceros de Ultra alta resistencia (UTS > 1000 Mpa)



1. Características de los productos de chapa



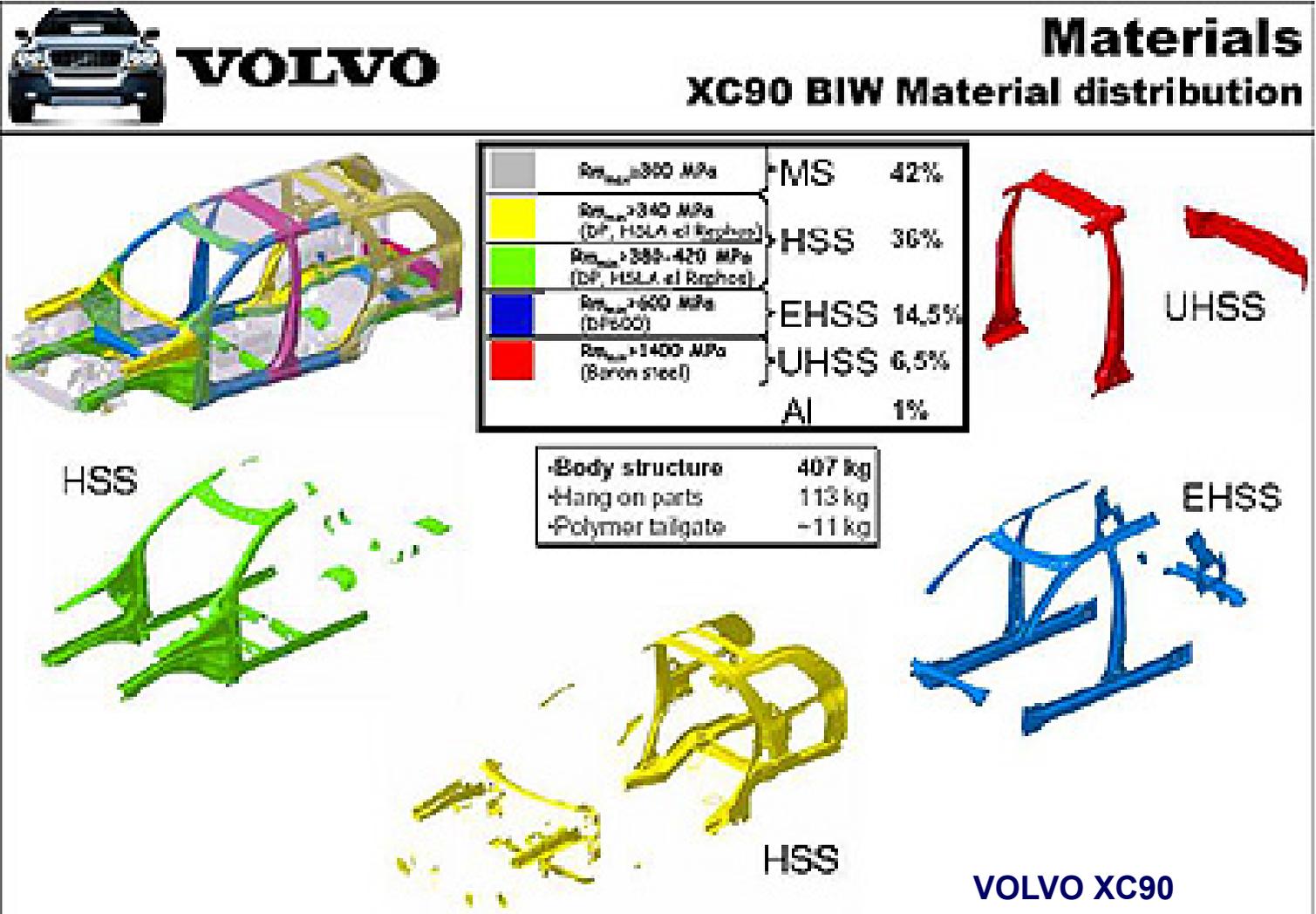
OTROS EJEMPLOS DE UTILIZACIÓN DE ACEROS DE ALTO LÍMITE ELÁSTICO EN EL AUTOMÓVIL



Mercedes Clase A:
67% HSS y UHSS



Porsche Cayenne:
65% HSS y UHSS



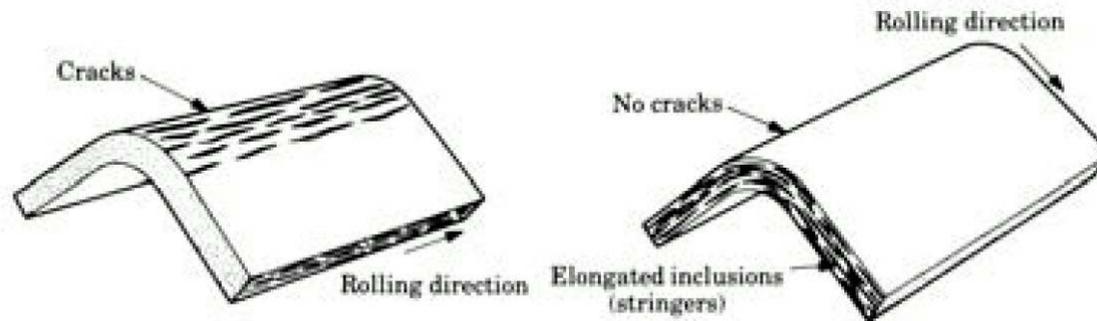
2. Comportamiento de la chapa ante la deformación

Las propiedades de la chapa vienen determinadas por los procesos previos de laminación y tratamientos térmicos a los que haya sido sometida

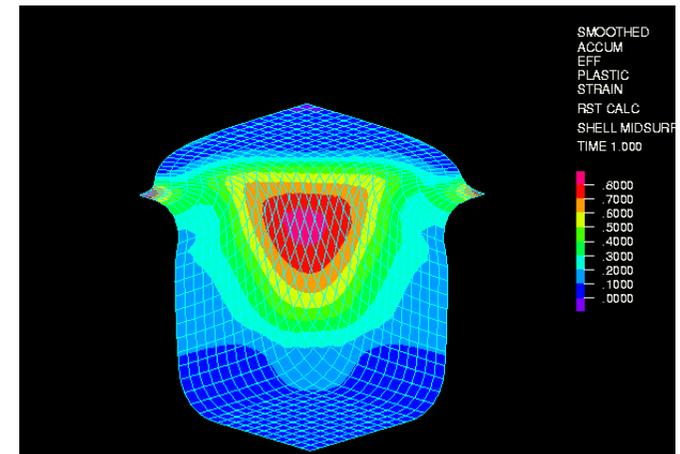
- **ANISOTROPÍA:** las propiedades no son iguales en todas las direcciones como consecuencia de la recristalización direccional durante la laminación (similar al fibrado direccional en forja).



La anisotropía puede provocar flujos de material diferentes en las diferentes direcciones durante el conformado. En el ejemplo, una copa correctamente embutida (izquierda) y defectuosa (derecha) como consecuencia de la anisotropía



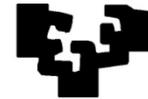
- **ESTADOS TENSIONALES VARIABLES EN LAS DISTINTAS ZONAS DE LA PIEZA.**



Evolución de los estados tensionales en una operación de deformación de chapa



2. Comportamiento de la chapa ante la deformación



CONFORMADO EN FRÍO Y EN CALIENTE

- **En frío: a temperatura ambiente.**
 - Es lo más habitual en aceros de bajo contenido en carbono y chapas de bajo espesor.
- **En caliente:**
 - **Hot Stamping:** Muy interesante en aceros de alto límite elástico. El calentamiento reduce el límite elástico, aumenta la ductilidad y reduce la recuperación elástica. El enfriamiento posterior trata térmicamente el acero → **Aumenta el límite elástico.**
 - También se utiliza en chapas de alto espesor.



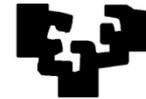
*Prensa hidráulica
LOIRE SAFE para
la estampación de
chapa en caliente*



*Se fabrican en estampación en caliente de chapa
refuerzos de puerta, parachoques, refuerzos de
montantes y piezas de alta resistencia en general*

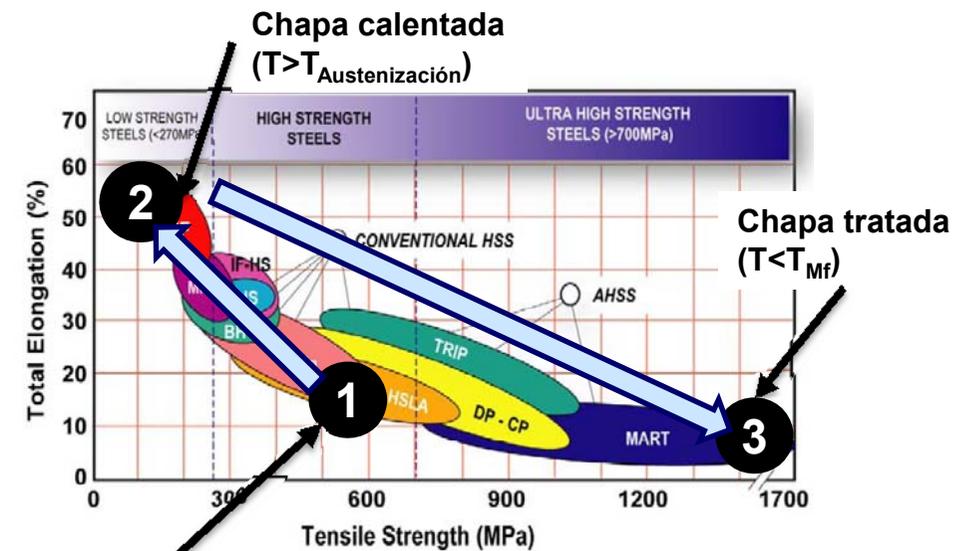
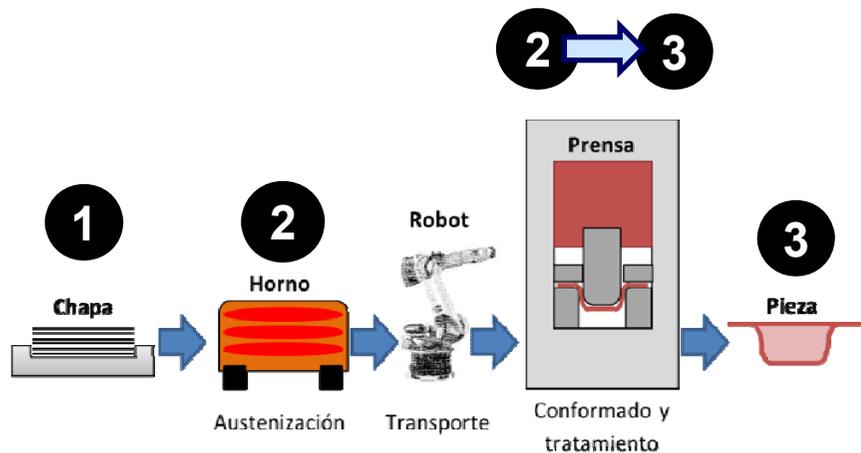


2. Comportamiento de la chapa ante la deformación



CONFORMADO EN CALIENTE

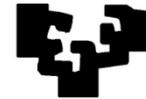
La estampación en caliente es un proceso por el cual se somete a una chapa a una carga entre dos troqueles, siendo la temperatura de entrada de la chapa mayor a la temperatura de austenización. Este proceso aprovecha la alta ductilidad de la pieza debido a su elevada temperatura inicial y a continuación, se procede a un enfriamiento rápido para lograr el endurecimiento martensítico de la pieza.



Estado inicial de la chapa (T_{amb})

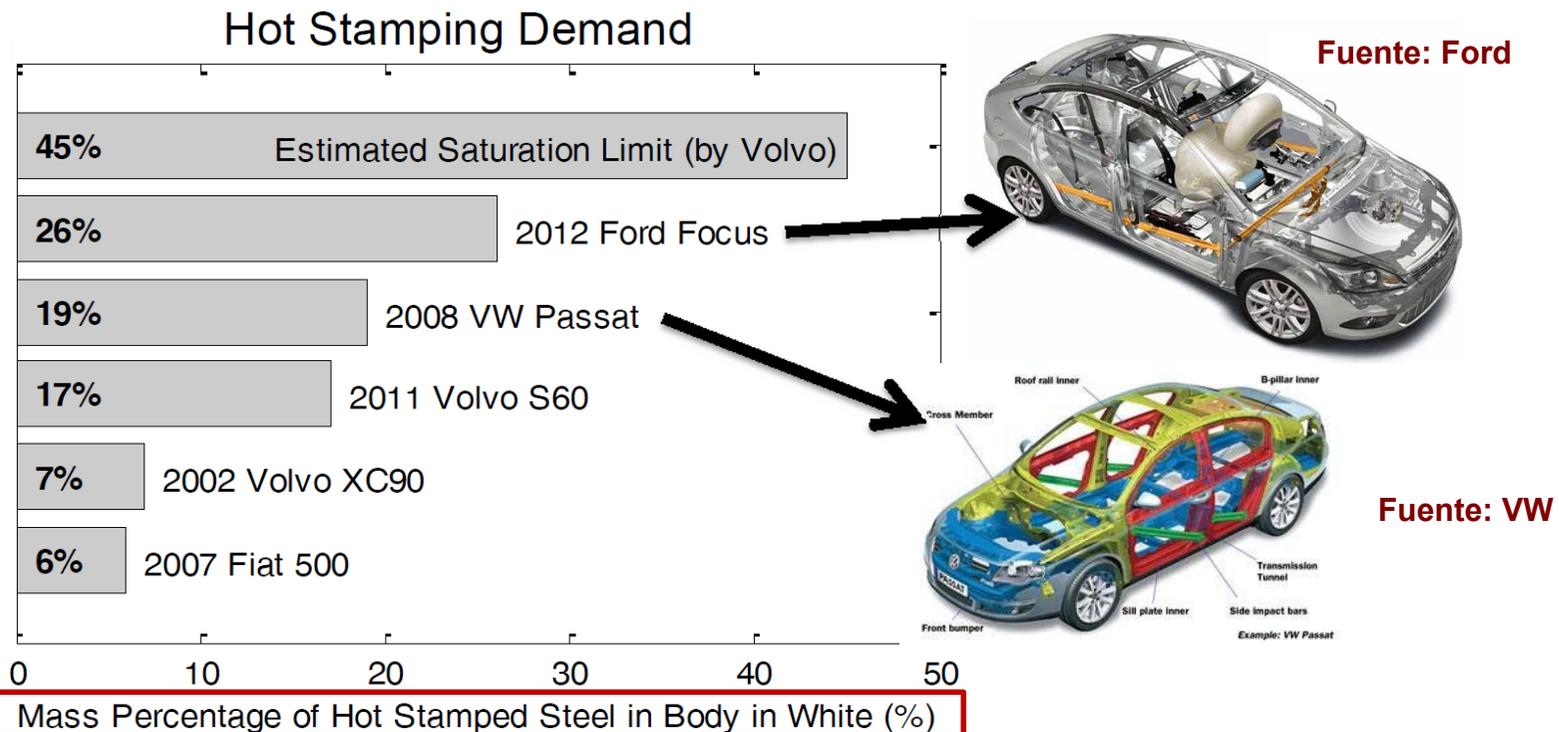


2. Comportamiento de la chapa ante la deformación



CONFORMADO EN CALIENTE

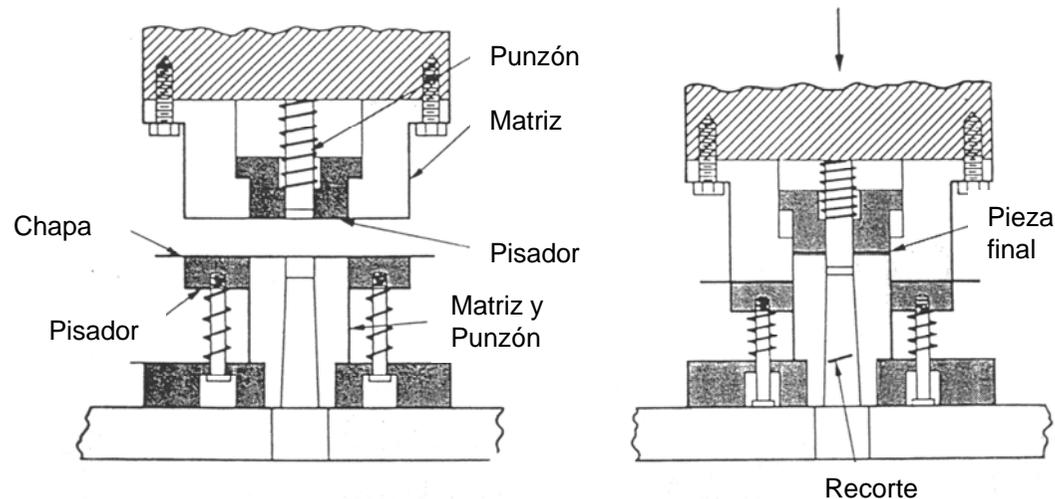
La estampación en caliente es un proceso por el cual se somete a una chapa a una carga entre dos troqueles, siendo la temperatura de entrada de la chapa mayor a la temperatura de austenización. Este proceso aprovecha la alta ductilidad de la pieza debido a su elevada temperatura inicial y a continuación, se procede a un enfriamiento rápido para lograr el endurecimiento martensítico de la pieza.



Ref: Holzkamp 2011, Hover 2011, Lucia 2011, Wästlund 2011.

Existen diferentes métodos industriales para el CORTE DE CHAPA:

- **PUNZONADO:** el material se cizalla por efecto del contacto con el conjunto punzón-matriz.
- **CORTE POR LÁSER:** un haz de luz de alta densidad de energía provoca la fusión y el corte de la chapa.



*Troquel de corte para la fabricación
de una arandela*

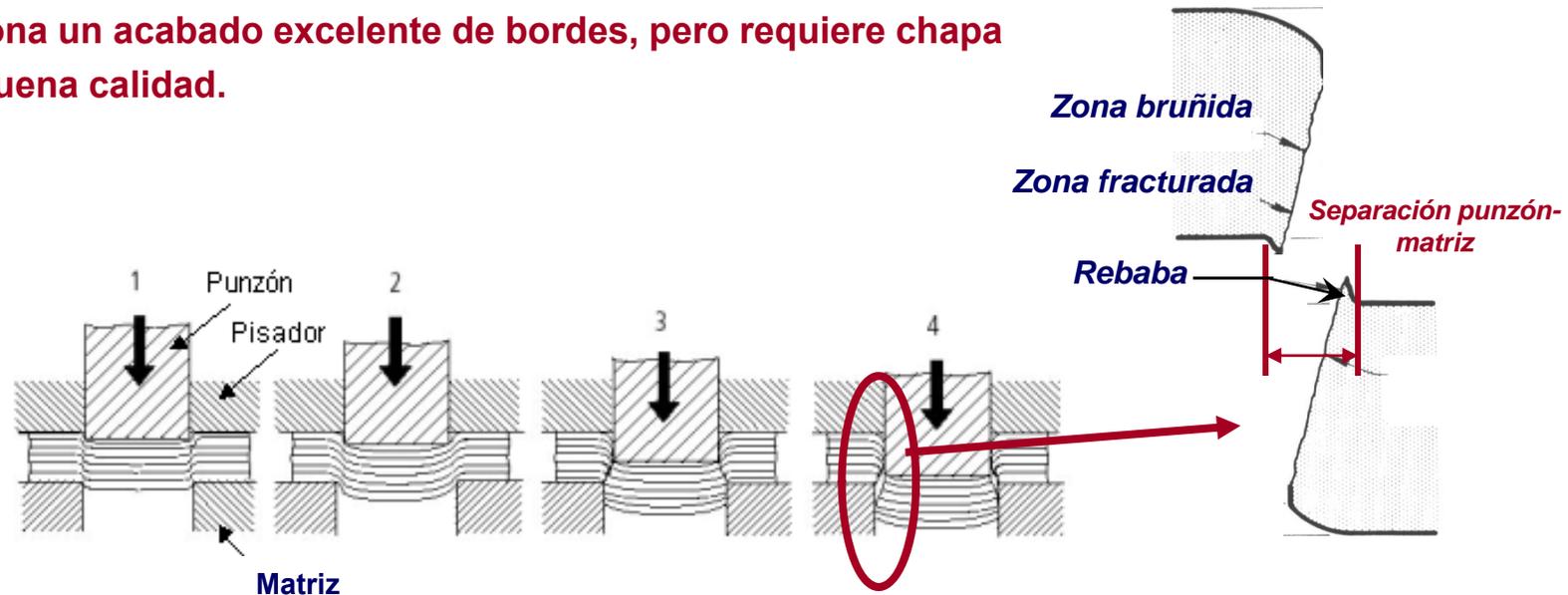
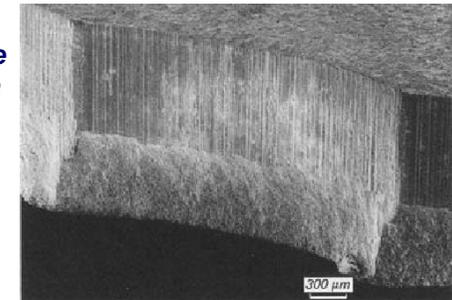


Corte por láser de chapa

PUNZONADO: para llevar a cabo el punzonado es necesario un conjunto de herramientas llamadas **PUNZÓN, MATRIZ Y PISADOR**. La forma del agujero viene determinada por el punzón y la matriz.

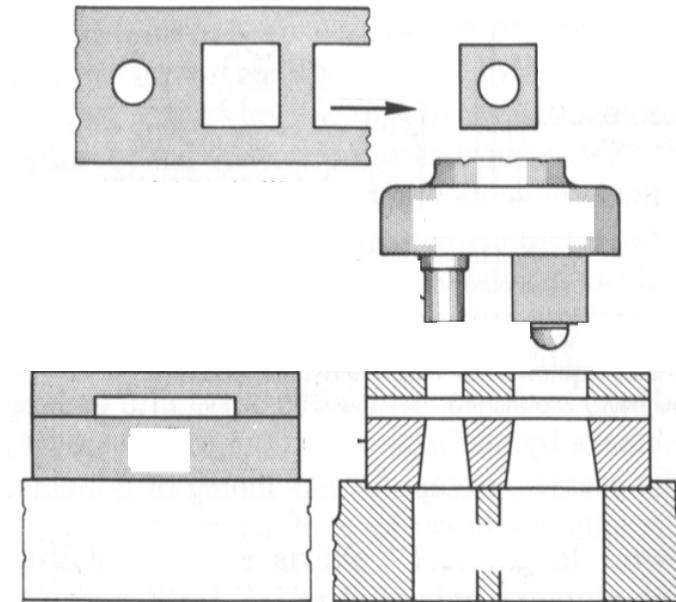
- El acabado de los bordes es función (entre otros factores) de la holgura entre punzón y matriz.
A mayor holgura, peor acabado.
- Otros parámetros importantes:
 - Material de la chapa.
 - Lubricación.
 - Velocidad de bajada del punzón.
- **CORTE FINO:** punzonado con muy pequeña separación punzón-matriz
Proporciona un acabado excelente de bordes, pero requiere chapa de muy buena calidad.

Micro-fotografía de un borde de chapa punzonado, Se aprecian las zonas bruñida y fracturada



PUNZONADO: para llevar a cabo el punzonado es necesario un conjunto de herramientas llamadas **PUNZÓN, MATRIZ Y PISADOR.**

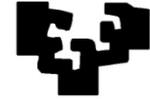
- **Materiales de herramientas:**
 - **Punzón y matriz:** aceros templados, metal duro, fundición nodular de alta resistencia.
 - **Pisador:** fundición laminar de baja resistencia.



Troquel progresivo para el punzonado de chapa

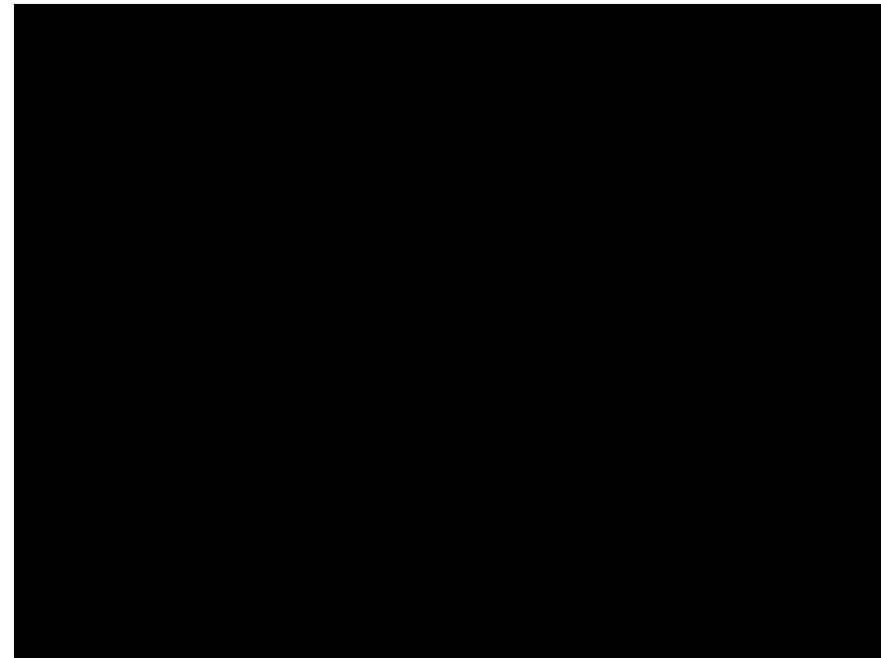


3. Corte



EL CORTE POR LÁSER se basa en fundir y/o vaporizar el material de chapa mediante la aplicación de una alta densidad de energía (haz láser) y posteriormente evacuarlo con un gas

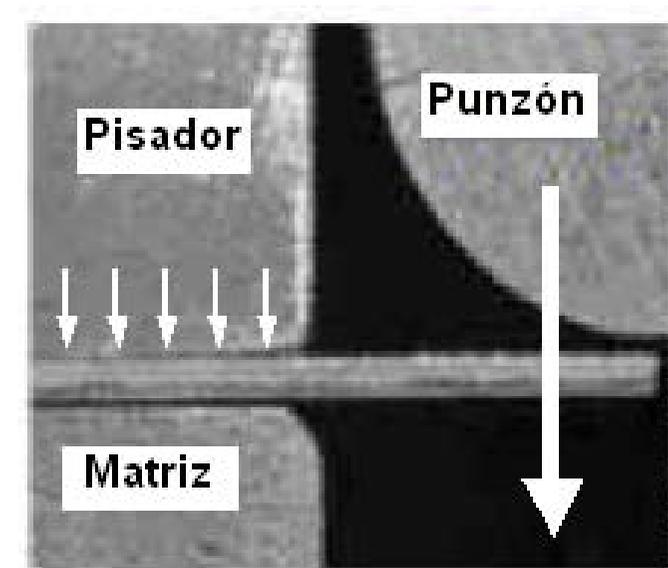
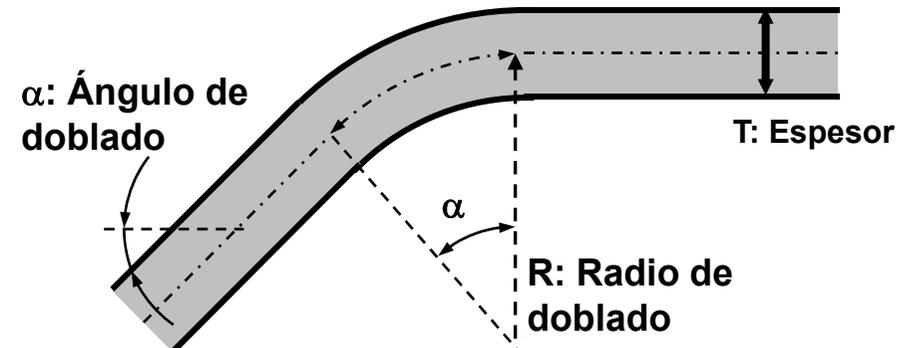
- **Consigue cortes de alta calidad con poca pérdida de material.**
- **Se aplica para espesores en el rango 0,2mm - 6mm en acero, acero inoxidable y aluminio (entre otros materiales).**
- **Permite la máxima flexibilidad: con el mismo cabezal láser es posible obtener cualquier geometría de pieza, mediante programación en un Control Numérico (frente al punzonado, en el que con un punzón solo es posible cortar una geometría).**



4. Doblado

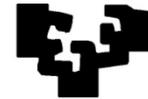
DOBLADO DE CHAPA: utilizando punzón y matriz se dobla la chapa hasta alcanzar un cierto ángulo.

- **Parámetros importantes:**
 - **Espesor de la chapa.**
 - **Ángulo de doblado.**
 - **Radio de doblado.**
- **El doblado puede ser:**
 - Una operación **parte de un troquel** más complejo que incorpore otras operaciones de punzonado y embutición.
 - Una operación aparte que se realiza en máquinas específicas denominadas **PLEGADORAS**.
 - También son posibles otras configuraciones de doblado, como el **doblado de tubos** o el **doblado con rodillos**.



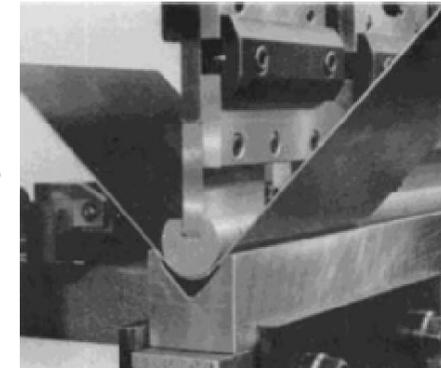
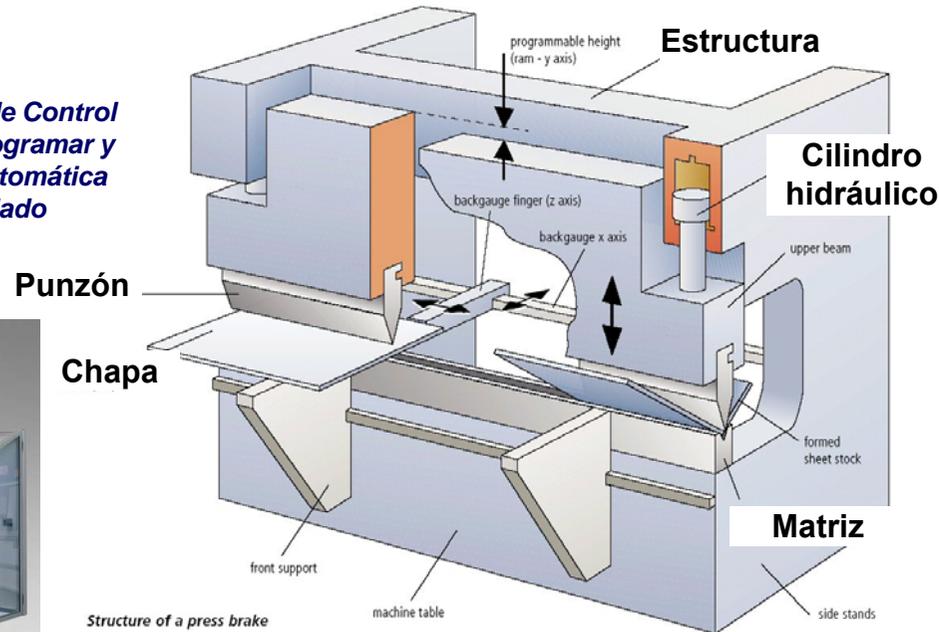


4. Doblado

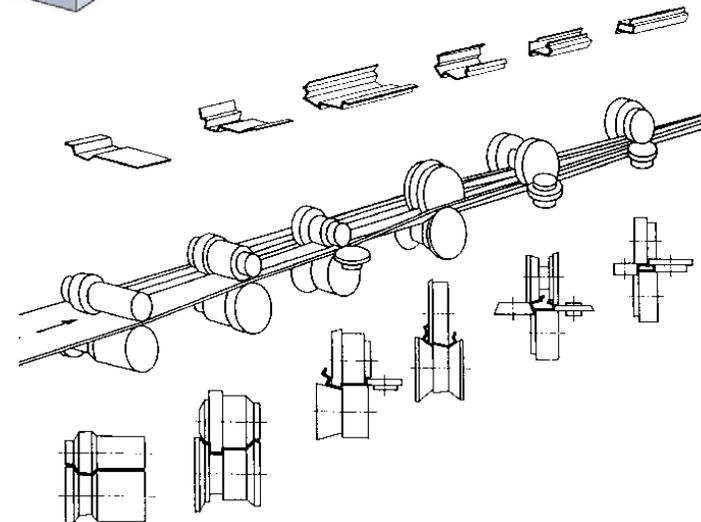


- **PLEGADO.**

Se trata de una máquina de Control Numérico que permite programar y llevar a cabo de forma automática operaciones de doblado

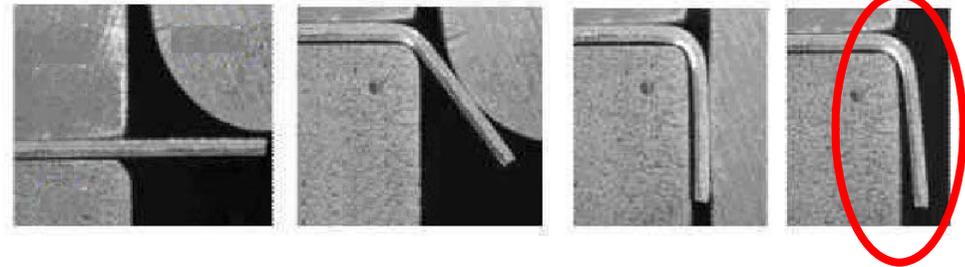


- **DOBLADO CON RODILLOS.**

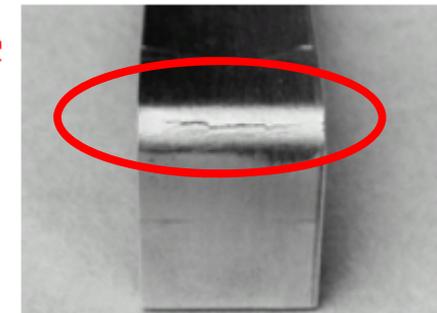
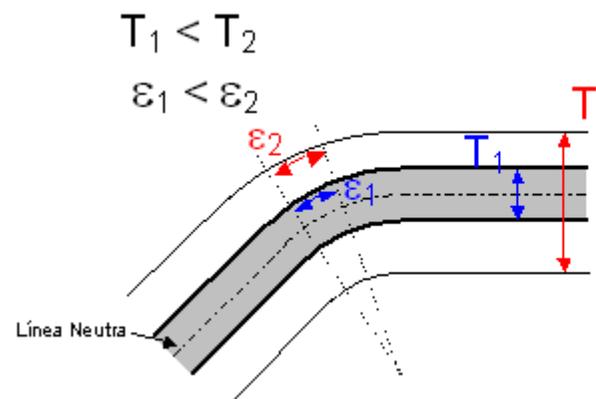


ANÁLISIS DE LA OPERACIÓN DE DOBLADO:

- **Recuperación elástica o “springback”:** aparece un momento recuperador debido a que la chapa trabaja en la zona elástica.
 - La recuperación es tanto mayor cuanto mayor es el límite elástico de la chapa.
 - Es difícil saberlo a priori: simulación numérica o ensayos previos.
 - Soluciones:
 - sobre-flexionar la chapa.
 - trabajar en caliente.
- **Radio mínimo de doblado:** las fibras más externas trabajan a tracción y pueden superar la tensión de rotura del material. El radio mínimo depende de:
 - el material de la chapa.
 - su espesor.



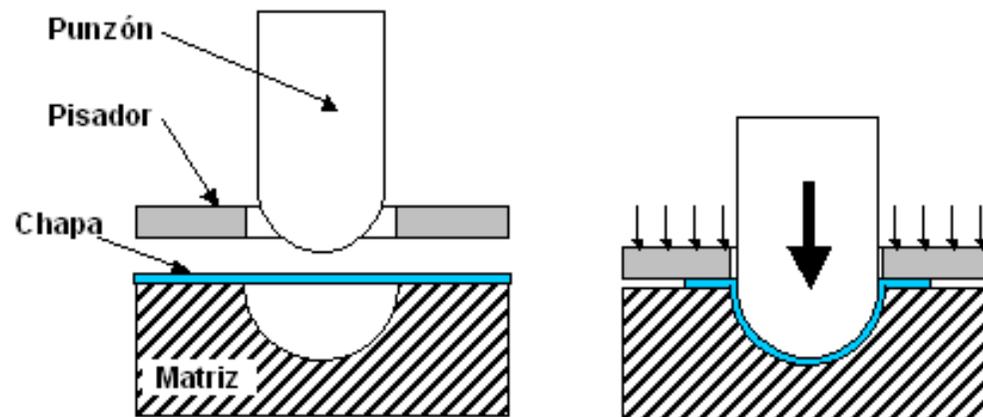
EJEMPLO: radio mínimo del acero de bajo contenido en carbono, sin tratamiento térmico: $R=0,5T$



5. Embutición

En el proceso de **EMBUTICIÓN** el punzón empuja la chapa hacia la matriz, generando una cavidad. Es la operación más compleja:

- Se producen grandes deformaciones en la chapa con estados tensionales variables y muy complejos.
- Se requieren grandes fuerzas, lo que provoca desgastes y deformaciones en los troqueles.
- Requiere un importante esfuerzo experimental de puesta a punto (prueba-error).



- Ejemplos de productos de chapa obtenidos por embutición:
 - Carrocería y otras piezas de automóvil.
 - Depósitos, recipientes...
 - Menaje de cocina.
 - etc..



5. Embutición

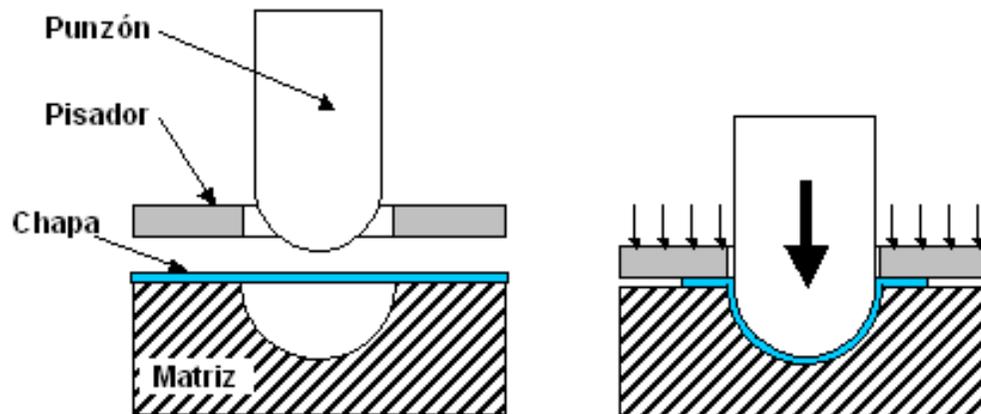
LÍMITE DE EMBUTIBILIDAD (LDR): existe un diámetro máximo de chapa que puede embutirse para un cierto diámetro de punzón sin que aparezcan grietas.

$$\text{LDR} = \frac{\text{Diámetro máximo de chapa}}{\text{Diámetro de punzón}}$$

Un control defectuoso de la operación de embutición puede provocar la aparición de daños en la pieza:

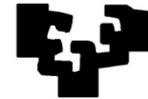
- Aparición de grietas.
- Aparición de arrugas.

Grieta producida en la chapa durante la embutición de una pieza de automóvil





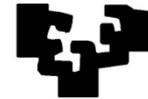
6. Cuestionario tutorizado



1. ¿Por qué crees que los troqueles son tan caros?
2. ¿Por qué crees que a los fabricantes de automóvil les resultan tan interesante el desarrollo de aceros de alto límite elástico?
3. ¿Crees que los estados tensionales de una pieza forjada y de una pieza de chapa estampada tienen algo en común? Razona la respuesta.
4. ¿Qué aspectos tendrías en cuenta a la hora de elegir entre el corte por láser y el punzonado?
5. ¿Qué resistencia mecánica puede alcanzar una fundición nodular para la fabricación de punzones y matrices? ¿Y qué elongación?
6. Analiza los estados tensionales en la zona plana de una copa durante su embutición. ¿Son iguales dichos estados tensionales a lo largo de toda la pieza y de todo el proceso?
7. ¿Por qué crees que la presión del pisador es una variable crítica en el proceso de embutición?
8. ¿Por qué la recuperación elástica o *springback* es un problema mayor en los aceros de alto límite elástico?
9. ¿Cómo crees que influiría la ductilidad de la chapa en la aparición de rebaba en una operación de corte?



7. Oportunidades laborales: empresas y productos



Troquelaría BATZ

Productos para AUTOMOCIÓN
Localización: Igorre (Bizkaia)
www.batz.com

MATRICI S. Coop.

Productos para AUTOMOCIÓN
Localización: Zamudio (Bizkaia)
www.matrici.com

GESTAMP Automoción

Productos para AUTOMOCIÓN
Localización: Abadiño, con plantas en todo el mundo
www.gestamp.com

Estampaciones RUBI

Productos para AUTOMOCIÓN
Localización: Vitoria (Álava)
www.estampaciones-rubi.com

FAGOR Arrasate

Fabricación de SISTEMAS LLAVE EN MANO
(líneas prensas, sistemas de estampación, líneas de corte,...)
Localización: Hernani (Gipuzkoa)
www.fagorarrasate.com

ESTAMPACIONES TROKELAN, TROQUELERÍA
RONAY, ICT-ICM, TROKENOR...

ICT-ICM diseña y fabrica
utilajes para la
estampación de piezas
metálicas para el sector
del automóvil



FAGOR ARRASATE
desarrolla líneas de
fabricación de
piezas para
electrodomésticos

